



PCT

特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(51) 国際特許分類7
H01L 21/027, B08B 7/00

A1

(11) 国際公開番号

WO00/41225

(43) 国際公開日

2000年7月13日(13.07.00)

(21) 国際出願番号 PCT/JP99/07321

(22) 国際出願日 1999年12月27日(27.12.99)

(30) 優先権データ
特願平10/372627 1998年12月28日(28.12.98) JP

(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について)
株式会社 ニコン(NIKON CORPORATION)[JP/JP]
〒100-8331 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 Tokyo, (JP)

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてののみ)

水野恭志(MIZUNO, Yasushi)[JP/JP]

茂木 清(MOTEGI, Kiyoshi)[JP/JP]

〒100-8331 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

株式会社 ニコン内 Tokyo, (JP)

(74) 代理人

立石篤司(TETEISHI, Atsuji)

〒194-0013 東京都町田市原町田5丁目4番20号

パセオビル5階 Tokyo, (JP)

(81) 指定国 AE, AL, AU, BA, BB, BG, BR, CA, CN, CR, CU, CZ, DM, EE, GD, GE, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KR, LC, LK, LR, LT, LV, MA, MG, MK, MN, MX, NO, NZ, PL, RO, SG, SI, SK, TR, TT, UA, US, UZ, VN, YU, ZA, 欧州特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), ARIPO特許 (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM)

添付公開書類

国際調査報告書

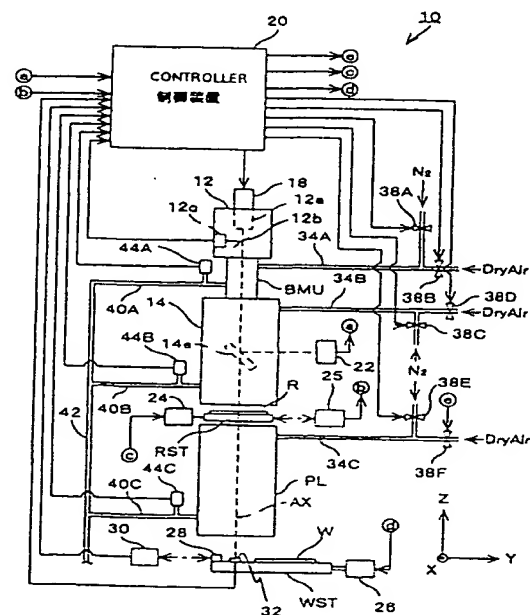
補正書

(54)Title: METHOD FOR CLEANING OPTICAL DEVICE, EXPOSURE APPARATUS AND EXPOSURE METHOD, METHOD FOR MANUFACTURING DEVICE, AND DEVICE

(54)発明の名称 光学素子の洗浄方法、露光装置及び露光方法、並びにデバイス製造方法及びデバイス

(57) Abstract

Ultraviolet radiation having a wavelength which is greatly sorbed by oxygen is emitted for a predetermined time from a light source (12) into a housing containing a light transmitting system (BMU), an illuminating optical system (14), and a projection optical system (PL). The gas in the housing is replaced with dry air containing oxygen sufficiently. The energy of the ultraviolet radiation is absorbed by the oxygen in the gas, and ozone is produced by a photochemical reaction. Therefore the contaminant substances adhering to the surface of an optical device are removed by the oxidation by the ozone, and thus the optical device is efficiently cleaned. In such a way an optical device is sufficiently cleaned in a shorter time than in conventional methods, and the illuminating time with ultraviolet radiation is shortened, thereby reducing the damage to the glass material.



(57)要約

送光系 (BMU)、照明光学系 (14)、投影光学系 (PL) のハウジング内に、光源 (12) から酸素による吸収が大きい波長の紫外光を所定時間照射する。この場合、上記紫外光の照射の際には、上記のハウジング内の気体を酸素を十分に含む乾燥空気等によって置換しておく。このため、ハウジング内の気体中の酸素によって紫外光のエネルギーが吸収され、光化学反応によりオゾンが発生し、そのオゾンの酸化作用により光学素子表面に付着した汚染物質が除去され、効率良く光学素子が洗浄される。これにより、光学素子を従来に比べてより短時間で十分に洗浄することが可能になり、紫外光の照射時間そのものを短縮することができるので、硝材のダメージを低減させることができる。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AE	アラブ首長国連邦	DM	ドミニカ	KZ	カザフスタン	RU	ロシア
AG	アンティグア・バーブーダ	DZ	アルジェリア	LC	セントルシア	SD	スーダン
AL	アルバニア	EE	エストニア	LI	リヒテンシュタイン	SE	スウェーデン
AM	アルメニア	ES	スペイン	LK	スリ・ランカ	SG	シンガポール
AT	オーストリア	FI	フィンランド	LR	リベリア	SI	スロヴェニア
AU	オーストラリア	FR	フランス	LS	レソト	SK	スロヴァキア
AZ	アゼルバイジャン	GA	ガボン	LT	リトアニア	SL	シエラ・レオネ
BA	ボスニア・ヘルツェゴビナ	GB	英国	LU	ルクセンブルグ	SN	セネガル
BB	バルバドス	GD	グレナダ	LV	ラトヴィア	SZ	スワジランド
BE	ベルギー	GE	グルジア	MA	モロッコ	TD	チャード
BF	ブルキナ・ファソ	GH	ガーナ	MC	モナコ	TG	トーゴ
BG	ブルガリア	GM	ガンビア	MD	モルドヴァ	TJ	タジキスタン
BJ	ベナン	GN	ギニア	MG	マダガスカル	TM	トルクメニスタン
BR	ブラジル	GR	ギリシャ	MK	マケドニア旧ユーゴスラヴィア	TR	トルコ
BY	ベラルーシ	GW	ギニア・ビサウ		共和国	TT	トリニダード・トバゴ
CA	カナダ	HR	クロアチア	ML	マリ	TZ	タンザニア
CC	中東アフリカ	HU	ハンガリー	MN	モンゴル	UA	ウクライナ
CG	コンゴ	ID	インドネシア	MR	モーリタニア	UG	ウガンダ
CH	スイス	IE	アイルランド	MW	マラウイ	US	米国
CI	コートジボワール	IL	イスラエル	MX	メキシコ	UZ	ウズベキスタン
CM	カメルーン	IN	インド	MZ	モザンビーク	VN	ヴェトナム
CN	中国	IS	アイスランド	NE	ニジェール	YU	ユーゴスラヴィア
CO	コスタ・リカ	IT	イタリア	NL	オランダ	ZA	南アフリカ共和国
CY	キプロス	JP	日本	NO	ノールウェー	ZW	ジンバブエ
CZ	チェコ	KE	ケニア	NZ	ニュージーランド		
DE	ドイツ	KG	キルギスタン	PL	ポーランド		
DK	デンマーク	KP	北朝鮮	PT	ポルトガル		
		KR	韓国	RO	ルーマニア		

明 細 書

光学素子の洗浄方法、露光装置及び露光方法、並びにデバイス製造方法及びデバイス

技術分野

本発明は、光学素子の洗浄方法、露光装置及び露光方法、並びにデバイス製造方法及びデバイスに係り、さらに詳しくは、波長200nm以下の紫外光が照射される光学素子の洗浄に用いて好適な洗浄方法、前記紫外光を露光用照明光として用いる露光装置及び露光方法、並びに前記露光装置及び露光方法を用いるデバイス製造方法及び該方法によって製造されるデバイスに関する。

背景技術

従来より、半導体素子、液晶表示素子等を製造するためのリソグラフィ工程では、マスク又はレチクル（以下、「レチクル」と総称する）のパターンをウエハ又はガラスプレート等の基板に転写する露光装置が用いられている。この種の露光装置として、近年では、レチクルのパターンを投影光学系を介して基板上に転写するステップ・アンド・リピート方式の縮小投影露光装置（いわゆるステッパ）や、ステップ・アンド・スキャン方式の走査露光型の投影露光装置（いわゆるスキャニング・ステッパ）等の投影露光装置が主として用いられている。

この種の投影露光装置では、必要とされる解像力が高まるに従い、露光光の波長が短くなり、最近では波長約193nmのArFエキシマレーザ光を露光用照明光として用いるArFエキシマレーザ露光装置も開発されている。

しかるに、波長200nm以下の真空紫外（VUV）光は、光路中に空気（酸素）が存在すると、そのエネルギーの大部分が吸収されて基板面では露光に必要な

なエネルギーが得られないため、現在のA r Fエキシマレーザ露光装置では、光学系内の光路の大部分を屈折率が1に近い気体、例えばN₂等で置換し、かつ露光用照明光として酸素による吸収の少ない波長に狭帯域化したエキシマレーザ光を用いて、マスクのパターンを基板上に効率的に転写（露光）するようにされている。

ところで、投影露光装置では、レチクルのパターンを基板に正確に転写するため、多数のレンズ、ミラー等の光学素子が使われているが、これらの光学素子が収納されるハウジングや鏡筒（投影光学系のハウジング）自身からの脱ガスやもともと光学系内部の雰囲気中に存在する不純物に起因して、水や有機系の汚染物質が光学素子に微量に付着することは避けられない。しかし、これらの汚染物質はA r Fエキシマレーザ光に対して強い吸収作用を持つため、A r Fエキシマレーザ露光装置においては、上記の光学素子の表面に付着した微量な汚染物質に起因して光学系の透過率が低下するとともに光学系の結像性能が劣化するという現象が生じ、このため、基板に転写されたパターンが劣化し、結果的に製造される集積回路等のマイクロデバイスの歩留まりが低下することがあった。

一方、A r Fエキシマレーザ光等の波長200nm以下の紫外光を汚染物質が付着した光学素子表面に照射することにより、該紫外光のエネルギーによって有機物が切断され、光学素子の洗浄ができることも知られており、現在のエキシマレーザ露光装置では、実際の露光動作に先立って、露光光を光学素子に照射することにより、前記光学素子表面に付着した汚染物質を除去する自己洗浄を行うのが通常である。

しかしながら、露光光のエネルギーによって有機物を切断するという上記の自己洗浄方法にあっては、洗浄効率が十分でないため、十分な洗浄効果を得るためには、露光光を光学素子に長時間照射しなければならなかった。このため、作業効率が必要以上に低下したり、高エネルギーの露光光の長時間の照射により

硝材にダメージを与えたりしていた。上記の作業効率の低下は、必然的に集積回路等のマイクロデバイスの製造コストのアップ要因となる。

本発明は、かかる事情の下になされたもので、その第1の目的は、光学素子をより短時間で十分に洗浄することができる光学素子の洗浄方法を提供することにある。

また、本発明の第2の目的は、マイクロデバイスの歩留まり及び生産性をともに向上させることができる露光装置及び露光方法を提供することにある。

また、本発明の第3の目的は、微細パターンが精度良く形成されたマイクロデバイス、及びその生産性を向上することができるデバイス製造方法を提供することにある。

発明の開示

本発明は、第1の観点からすると、酸素を含む第1の気体が充填されたハウジング内に収納された光学素子の洗浄方法において、前記ハウジング内に、酸素により吸収される特性を有する波長の紫外光を所定時間照射することを特徴とする光学素子の洗浄方法である。

これによれば、ハウジング内に、酸素により吸収される特性を有する波長の紫外光を所定時間照射することから、ハウジング内の第1の気体（酸素を含む気体）中の酸素によって紫外光のエネルギーが吸収され、光化学反応によりオゾンが発生し、そのオゾンの酸化作用により光学素子表面に付着した汚染物質が除去され、効率良く光学素子が洗浄される。これにより、光学素子を従来に比べてより短時間で十分に洗浄することが可能になり、紫外光の照射時間そのものを短縮することができるので、硝材のダメージを低減させることができる。

なお、この場合において、紫外光はハウジング内の光学素子に直接的に照射しても良いが、光学素子に直接照射することなくハウジング内の気体に照射しても良い。前者の場合には、紫外光のエネルギーにより有機物が切断される光学

素子の洗浄効果も併せて得られるので、より効率的な洗浄が期待できる。後者の場合には、硝材の受けるダメージを一層低減させることができる。

本発明に係る光学素子の洗浄方法では、前記紫外光の照射に際して、前記ハウジング内の第1の気体を該第1の気体に比べて酸素をより多く含む第2の気体によって置換しても良い。かかる場合には、ハウジング内に酸素が十分ある状態でハウジング内に紫外光が照射されるので、光化学反応により一層多量のオゾンが発生し、その多量のオゾンの酸化作用により、一層効率良く光学素子が洗浄される。

また、本発明に係る光学素子の洗浄方法では、前記紫外光の照射に際して、前記ハウジング内の第1の気体を酸素及びオゾンを含む第3の気体によって置換しても良い。かかる場合には、ハウジング内に酸素及びオゾンが存在する状態でハウジング内に紫外光が照射されるので、光化学反応により発生したオゾン及び気体中にもともと含まれるオゾンの酸化作用により、より一層効率良く光学素子が洗浄される。

本発明に係る光学素子の洗浄方法では、前記紫外光の波長はほぼ193、23nmであっても良い。かかる波長は、酸素による紫外光のエネルギー吸収が周辺の波長帯域に比べて大きいので、上記の光化学反応によるオゾンの発生確率が高いからである。

本発明は、第2の観点からすると、マスク(R)のパターンを光学系を介して基板(W)に転写する露光装置であって、露光波長の第1の光と当該第1の光に比べて酸素による吸収が大きい波長の第2の光とを出射可能な光源ユニット(12)と；前記光源ユニットからの光をマスクに照射する照明用光学系(BMU、14)と；前記マスクから出射される光を前記基板に投射する投影光学系(PL)と；前記マスクのパターンを前記基板に転写する露光時には、前記光源ユニットから前記第1の光が前記照明用光学系を介して前記マスクに照射されるように設定するとともに、前記照明用光学系及び前記投影光学系の少な

くとも一部を洗浄する洗浄時には、前記光源ユニットから前記第2の光が前記照明用光学系に入射されるように設定する制御装置(20)とを備える第1の露光装置である。

ここで、照明用光学系とは、広義の照明光学系を意味し、ビームマッチングユニット等の送光系をも含む概念である。

これによれば、照明用光学系及び投影光学系の少なくとも一部を洗浄する洗浄時には、制御装置により、光源ユニットから露光波長の第1の光に比べて酸素による吸収が大きい波長の第2の光が照明用光学系に入射されるような設定が行われ、光源ユニットからの第2の光が照明用光学系及びこれを介して投影光学系に照射され、照明用光学系及び投影光学系内で酸素の光化学反応によりオゾンが発生し、そのオゾンの酸化作用により照明用光学系及び投影光学系の少なくとも一部(の光学素子)が効率良く洗浄される。従って、光学系を従来に比べてより短時間で十分に洗浄することが可能になり、洗浄のための第2の光の照射時間そのものを短縮し、硝材のダメージを低減させるとともに光学系の結像特性を良好に維持することができる。

そして、洗浄が終了して、マスクのパターンを基板に転写する露光時には、制御装置により、光源ユニットから露光波長の第1の光が照明用光学系を介してマスクに照射されるような設定が行われ、光源ユニットからの第1の光がマスクに照射され、該マスクのパターンが投影光学系を介して基板に転写される。従って、酸素による吸収の少ない露光波長の光を用いて結像特性を良好に維持した光学系を介して露光が行われ、マスクのパターンを基板に精度良く転写することができる。これにより、マイクロデバイスの歩留まり及び生産性をともに向上させることができる。

この場合において、前記制御装置(20)は、前記洗浄時に、前記第2の光が出射される際には、その洗浄対象の光路部分に酸素及びオゾンの少なくとも一方を含む洗浄用気体を注入するようにしても良い。酸素を含む洗浄用気体を

注入する場合には、洗浄対象の光路部分に酸素を含む洗浄用気体が注入された状態で、第2の光が出射されるので、その気体中に含まれる酸素の光化学反応によりオゾンが発生し、そのオゾンの酸化作用により照明用光学系及び投影光学系の少なくとも一部（の光学素子）が短時間で洗浄される。また、オゾンを含む洗浄用気体を注入する場合には、洗浄対象の光路部分にオゾンを含む洗浄用気体が注入された状態で、第2の光が出射されるので、その洗浄用気体中に含まれるオゾンの酸化作用によって照明用光学系及び投影光学系の少なくとも一部（の光学素子）が短時間で洗浄される。

本発明に係る第1の露光装置では、上記の洗浄用気体は、酸素を十分含む気体であっても良く、あるいは前記洗浄用気体は、酸素及びオゾンを含む気体であっても良い。前者の場合には、洗浄対象の光路部分に酸素を十分含む気体が注入された状態で、第2の光が出射されるので、その気体中に含まれる酸素の光化学反応により、より多くのオゾンが発生し、そのオゾンの酸化作用により照明用光学系及び投影光学系の少なくとも一部（の光学素子）が一層短時間で洗浄される。また、後者の場合には、洗浄対象の光路部分に酸素及びオゾンを含む気体が注入された状態で、第2の光が出射されるので、その気体中に含まれる酸素の光化学反応によりオゾンが発生し、そのオゾン及び前記気体中に含まれるオゾンの酸化作用によって照明用光学系及び投影光学系の少なくとも一部（の光学素子）がより一層短時間で洗浄される。

本発明に係る第1の露光装置では、前記制御装置（20）は、前記露光時に、前記第1の光の出射に先立って、前記光学系内に屈折率が1に近い気体、例えば窒素ガス（ N_2 ）を注入しても良い。かかる場合には、第1の光として波長200nm以下の真空紫外（VUV）光を用いてもその紫外光のエネルギーが酸素によって殆ど吸収されず基板面で十分な光強度が得られるとともに光学系の結像性能を良好に維持した状態で露光が行われ、マスクのパターンを基板に精度良く転写することができる。これにより、マイクロデバイスの歩留まり及び生

産性をともに向上させることができる。

本発明に係る第1の露光装置では、光源ユニットの構成は種々考えられる。例えば、前記光源ユニットが、前記第1の光を出射する第1の光源と、前記第2の光を出射する第2の光源とを有する場合、前記制御装置は、前記第1の光源からの第1の光と前記第2の光源からの第2の光とを択一的に前記照明用光学系に導くこととすることができる。

あるいは、前記光源ユニット(12)は、単一の光源(12a)と、該光源からの出射光の波長を切り換える切り換え機構(18)とを有していても良く、この場合、前記制御装置は、前記露光時と前記洗浄時とで前記切り換え機構を介して前記光源からの出射光の波長を切り換えることとすることができる。

この場合において、前記切り替え機構は、前記光源からの出射光の波長幅を狭帯域化する狭帯域化モジュールの一部を駆動する駆動機構により構成することができる。

また、この場合、前記狭帯域化モジュールが、前記光源ユニットからの出射光の波長幅を変更可能としても良く、この場合、前記制御装置は、前記洗浄時に、前記駆動機構を介して、前記狭帯域化モジュールで狭帯域化される波長幅を酸素の吸収帯域を含む波長幅に変更することとすることができる。

本発明に係る第1の露光装置では、前記第2の光は、波長がほぼ193.23 nmのArFエキシマレーザ光であっても良い。かかる波長は、酸素による吸収が周辺の波長帯域に比べて大きいので、上記の光化学反応によるオゾンの発生確率が高くなり、より一層光学素子の洗浄時間の短縮が可能になる。

本発明に係る第1の露光装置では、前記光源ユニット(12)から前記マスクに至る前記光の光路の一部に配置され、その出射光の強度を調整可能な調整装置を更に備え、前記制御装置は、前記第2の光の強度が前記第1の光の強度より高くなるように前記調整装置を制御することとすることができる。

かかる場合には、洗浄時に光学系に照射される第2の光の強度(ピークパワ

一) が露光時に照射される第1の光の強度より高くなるので、光学素子の洗浄を一層効率的に行うことができ、洗浄時間の更なる短縮が可能となる。

本発明は、第3の観点からすると、マスク(R)のパターンを光学系を介して基板(W)に転写する露光装置であって、少なくとも露光波長を含む所定波長幅の光を出射可能な光源ユニット(12)と；前記光源ユニットからの前記光をマスクに照射する照明用光学系(BMU、14)と；前記マスクから出射される光を前記基板に投射する投影光学系(PL)と；前記光源ユニットから前記マスクに至る前記光の光路の一部に配置され、その出射光の強度を調整可能な調整装置と；前記マスクのパターンを前記基板に転写する露光時に比べて前記照明用光学系及び前記投影光学系の少なくとも一部を洗浄する洗浄時に前記出射光の強度が高くなるように前記調整装置を制御する制御装置(20)とを備える第2の露光装置である。

ここで、照明用光学系とは、前述と同様に、広義の照明光学系を意味し、ビームマッチングユニット等の送光系をも含む概念である。

これによれば、照明用光学系及び投影光学系の少なくとも一部を洗浄する洗浄時には、制御装置により、光源ユニットからマスクの配置面(マスクが配置される面)に至る光の光路の一部に配置された調整装置からの出射光の強度が露光時より高くなるように調整装置が制御される。このため、光源ユニットからその強度が高く設定された光(露光波長と同一波長であっても良い)が照明用光学系及びこれを介して投影光学系に照射され、照明用光学系及び投影光学系内で酸素の光化学反応によりオゾンが発生し、そのオゾンの酸化作用により照明用光学系及び投影光学系の少なくとも一部(の光学素子)が効率良く洗浄される。この場合、洗浄用の光の光強度が高くなっている分、オゾンの発生量が多くなり、より大きな洗浄効果が生じる。従って、光学系を従来に比べてより短時間で十分に洗浄することが可能になり、洗浄のための光の照射時間そのものを短縮し、硝材のダメージを低減させるとともに光学系の結像特性を良好

に維持することができる。

そして、洗浄が終了して、マスクのパターンを基板に転写する露光時には、制御装置によって調整装置からの出射光の強度が洗浄時より低い所定の強度となるように調整装置が制御され、光源ユニットからの露光波長の光がマスクに照射され、該マスクのパターンが投影光学系を介して基板に転写される。この露光中は、光化学反応によるオゾンの発生が低く抑えられるので、オゾンによる露光光の吸収は低く、露光光の透過率を十分高く維持して露光が行われる。従って、マスクのパターンを基板に精度良く転写することができる。これにより、マイクロデバイスの歩留まり及び生産性をともに向上させることができる。

この場合において、前記調整装置の構成は種々考えられるが、例えば、前記調整装置は、前記光路の一部に挿入・退避可能に設けられ、前記光路上を通る光束を分割するビームスプリッタを含み、前記分割された一方の光束を遅延光路に廻し、再び分割した光路に戻す光遅延素子を少なくとも1つ有する構成とし、前記制御装置は、前記ビームスプリッタを、前記露光時には前記光路上に挿入し、前記洗浄時には前記光路上から退避させることとすることができる。かかる場合には、光洗浄を行う際には、制御装置により、ビームスプリッタが前記光路（光源ユニットからマスクの配置面に至る光の光路）から退避されるので、光源ユニットからの光がダイレクトに洗浄部に導かれる。このため、十分な光強度で光洗浄が行われる。この一方、露光時には、制御装置によりビームスプリッタが前記光路上に挿入されるので、光遅延素子を構成するビームスプリッタにより光源ユニットからの光束が分割され、その分割された一方の光束と他方の光束間に遅延光路の光路長分だけ光路長差（光路差）が生じ、通常遅延光路の光路長は光源の可干渉長以上に設定するので、結果的に被照射面（マスク面及び基板面）におけるスペックルや干渉縞の発生が低減される。従って、像面（基板面）における照度均一性が良好となり、線幅均一性の向上による高精度な露光が可能になる。

本発明は、第4の観点からすると、マスク（R）のパターンを光学系を介して基板（W）に転写する露光方法であって、前記光学系内部の少なくとも一部に酸素が十分に存在する状態で前記光学系に露光波長の光に比べて酸素による吸収の大きい波長の紫外光を所定時間照射する第1工程と；前記光学系内部の少なくとも一部に存在する酸素を含む気体を屈折率が1に近いガスで置換する第2工程と；前記マスクに前記露光波長の紫外光を照射して前記マスクのパターンを前記光学系を介して基板に転写する第3工程とを含む第1の露光方法である。

これによれば、第1工程において、光学系内部の少なくとも一部に酸素が十分に存在する状態で光学系に露光波長の光に比べて酸素による吸収の大きい波長の紫外光が所定時間照射される。これより、光学系内部の少なくとも一部に存在する酸素の光化学反応によりオゾンが発生し、そのオゾンの酸化作用により光学系（内の光学素子）が効率的に洗浄される。次に、第2工程において、光学系内部の少なくとも一部に存在する酸素を含む気体が屈折率が1に近いガスで置換される。そして、この置換が終了すると、第3工程において、マスクに露光波長の紫外光を照射してマスクのパターンが光学系を介して基板に転写される。このように、本発明によれば、光学系の洗浄が必要なときに、露光光の波長を酸素による吸収の大きい波長に変更し、光路に光洗浄に必要な酸素が十分にある状態で光学系内部の光学素子を洗浄し、この洗浄後に露光光の波長と光路中の酸素濃度を元に戻した状態で基板に対しマスクパターンを転写する（露光を行なう）。これにより、基板に転写されるパターン像の劣化を防ぎ、集積回路等のマイクロデバイスの歩留まりを向上させ、生産性を向上させることができるので、結果的に製造コストを下げることができる。

ここで、上記第1工程における処理は、光学系内部の光路全体に酸素が十分に存在する状態で行われても良いが、特に洗浄の必要な光路の一部分、例えば光源から遠く洗浄され難い基板に近い光路部分にのみ酸素が十分に存在する状態で

行われても良い。また、第1工程の処理、すなわち洗浄は、露光装置製造直後や、長期露光動作停止後、あるいは露光条件又は照明条件の変更時等、光学素子表面の汚染による結像特性の劣化が予想される場合に行なうことが効率的である。

本発明に係る第1の露光方法では、前記第1工程で照射される紫外光の強度は、前記第3工程で照射される紫外光の強度に比べて高くしても良い。かかる場合には、強度の高い紫外光により効率良く、光洗浄を行なうことができる。

本発明は、第5の観点からすると、マスクのパターンを光学系を介して基板に転写する露光方法であって、露光時の第1の光に比べて光の強度が高い第2の光を前記光学系に所定時間照射する第1工程と；前記光学系内部の少なくとも一部に存在する酸素を含む気体を屈折率が1に近いガスで置換する第2工程と；前記マスクに露光波長の前記第1の光を照射して前記マスクのパターンを前記光学系を介して基板に転写する第3工程とを含む第2の露光方法である。

これによれば、第1工程において、光学系に露光時の第1の光（露光光）に比べて光の強度が高い第2の光（露光波長と同一波長、あるいは異なる波長のいずれであっても良い）が所定時間照射される。光学系内で酸素の光化学反応によりオゾンが発生し、そのオゾンの酸化作用により光学系（の光学素子）が効率良く洗浄される。この場合、洗浄用の光の光強度が高くなっている分、オゾンの発生量が多くなり、より大きな洗浄効果が生じる。従って、光学系を従来に比べてより短時間で十分に洗浄することが可能になり、洗浄のための光の照射時間そのものを短縮し、硝材のダメージを低減させるとともに光学系の結像特性を良好に維持することができる。次に、第2工程において、光学系内部の少なくとも一部に存在する酸素を含む気体が屈折率が1に近いガスで置換される。そして、この置換が終了すると、第3工程において、マスクに強度が洗浄時より低い所定の強度の露光波長の第1の光を照射してマスクのパターンが光学系を介して基板に転写される。このように、本発明によれば、光学系の洗

浄が必要なときに、露光光の強度を洗浄効果がより大きな高い強度に設定して、光学系内部の光学素子を効率よく洗浄し、この洗浄後に露光光の強度（及び波長）と光路中の酸素濃度を元に戻した状態で基板に対しマスクパターンを転写する（露光を行なう）。この露光中は、光化学反応によるオゾンの発生が低く抑えられるので、オゾンによる露光光の吸収は低く、露光光の透過率を十分高く維持して露光が行われる。従って、マスクのパターンを基板に精度良く転写することができる。これにより、マイクロデバイスの歩留まり及び生産性をともに向上させることができる。

また、リソグラフィ工程において、本発明の露光方法を用いて露光を行うことにより、基板上にパターンを精度良く形成することができ、これにより、より高集積度のマイクロデバイスを歩留まり良く製造することができ、その生産性を向上させることができる。同様に、リソグラフィ工程において、本発明の露光装置を用いて露光を行うことにより、マスクのパターンを基板に精度良く転写することができ、これにより、マイクロデバイスの歩留まり及び生産性をともに向上させることができる。従って、より高集積度のマイクロデバイスを歩留まり良く製造することができ、その生産性を向上させることができる。従って、本発明は別の観点からすると、本発明の露光方法又は本発明の露光装置を用いるデバイス製造方法であり、また、該製造方法によって製造されたデバイスであるとも言える。

図面の簡単な説明

図1は、本発明の一実施形態に係る露光装置の構成を概略的に示す図である。

図2は、図1の光源ユニットの一構成例を示す図である。

図3は、図1の光源ユニットの他の構成例を示す図である。

図4は、図1のビームマッチングユニットBMUの一構成例を示す図である。

図5は、波長193.3nm近傍の乾燥空気雰囲気中を透過した光強度分布

を示す線図である。

図6は、図1の装置の光学系内に乾燥空気とオゾンの混合ガスを供給する場合の例について説明するための図である。

図7は、本発明に係るデバイス製造方法の実施形態を説明するためのフローチャートである。

図8は、図7のステップ404における処理を示すフローチャートである。

発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の一実施形態を図1～図6に基づいて説明する。図1には、一実施形態に係る露光装置10の全体構成が概略的に示されている。この露光装置10は、ステップ・アンド・スキャン方式でマスクとしてのレチクルRのパターンを基板としてのウエハW上の複数のショット領域に転写する半導体製造用の走査型露光装置である。

露光装置10は、光源ユニット12、照明光学系14、マスクとしてのレチクルRを保持するレチクルステージRST、投影光学系PL、基板としてのウエハWを保持するウエハステージWST、及びこれらの制御系等を備えている。

前記光源ユニット12としては、ここではArFエキシマレーザ装置が用いられている。この光源ユニット12は、実際には、設置床の上面又は別の部屋（例えば露光装置本体が設置される超クリーンルームに比べてクリーン度の低いサービスルーム、あるいは超クリーンルーム床下に設けられたユーティリティスペースなど）内に設置されるが、図1では図示の便宜上から照明光学系14の上方に示されている。この光源ユニット12は、ハウジングとこのハウジング内に配置された光学素子（例えば、複数の可動反射鏡等）とから構成されたビームマッチングユニットと呼ばれる送光系BMUを介して照明光学系14に接続されている。

なお、ビームマッチングユニットBMUの具体的構成例については後述する。

本実施形態では、ビームマッチングユニットBMUと照明光学系14とによって、光源ユニット12からの光をレチクルRに照射する照明用光学系が構成されている。

前記光源ユニット12は、レーザ共振器12a、該レーザ共振器12aから出射されるレーザビームの光路上に配置された透過率が97%程度のビームスプリッタ12b、該ビームスプリッタ12bの反射光路上に配置されたビームモニタ機構12c、高圧電源12d（図1では図示せず、図2、図3参照）等を備えている。

図2には、光源ユニット12の構成の一例が示されている。この図2に示されるように、光源ユニット12の前記構成各部（12a、12b、12c、12dなど）は、ハウジング13内に収納されている。

この内、前記レーザ共振器12aは、図2に示されるように、放電電極を含むエキシマレーザチューブ（レーザチャンバ）202、該エキシマレーザチューブ202の後側（図2における紙面内左側）に配置された全反射ミラー（リアミラー）201、エキシマレーザチューブ202の前側（図2における紙面内右側）に配置された低反射率ミラー（フロントミラー）205、並びにエキシマレーザチューブ202とフロントミラー205との間に順次配置された固定のファブリ・ペロー・エタロン（Fabry-Perot etalon）203及び可変傾角のファブリ・ペロー・エタロン204等を含んで構成されている。

この場合、リアミラー201とフロントミラー205とによって、共振器が構成され、コヒーレンシを少し高めるようにされている。

また、ファブリ・ペロー・エタロン（以下、「エタロン」と呼ぶ）203とエタロン204とにより狭帯域化モジュールが構成されている。これを更に詳述すると、エタロン203、204は2枚の石英板を所定のギャップで平行に対向させたもので、一種のバンドパスフィルタとして働く。エタロン203、204のうちエタロン203は粗調用で、エタロン204は微調用である。これ

らのエタロン203、204は、レーザ共振器12aから射出されるレーザビームLBのスペクトル幅を、ここでは自然発振スペクトル幅の約 $1/100 \sim 1/300$ 程度に狭めて出力する。また、エタロン204の傾角を調整することにより、レーザ共振器12aから射出されるレーザビームLBの波長（発振波長）を所定範囲でシフトできるようになっている。

この他、レーザ共振器12aを、例えば図3のように構成しても良い。この図3のレーザ共振器12aは、図2のレーザ共振器を構成する粗調用のエタロン203を取り去り、リアミラー201の代りに波長選択素子としての反射型の回折格子（グレーティング）206を傾斜可能に設けたものである。この場合、グレーティング206とフロントミラー205とによって共振器が構成されている。また、グレーティング206と微調用のエタロン204とによって前述と同様の機能の狭帯域化モジュールが構成されている。この図3のレーザ共振器12aの場合、グレーティング206は波長設定時の粗調に用いられ、エタロン204は微調に用いられる。エタロン204及びグレーティング206のうちいずれかの傾斜角を変更すれば、レーザ共振器12aから射出されるレーザビームLBの波長（発振波長）を所定範囲で変化させることができる。

なお、狭帯域化モジュールを、例えばプリズムと回折格子（グレーティング）とを組み合わせたものによって構成することも可能である。

前記ビームモニタ機構12cは、ここではディフューザ、エタロン素子、ラインセンサ及びエネルギーモニタ（いずれも図示省略）から構成されている。このビームモニタ機構12cの検出信号は、制御装置20に供給されるようになっている。ビームモニタ機構12cを構成するディフューザを通過した光はエタロン素子で回折し、フリンジパターンを形成する。このフリンジパターンは、入射光の中心波長、スペクトル半値幅（波長幅）に対応したものとなっており、ラインセンサからこのフリンジパターンの撮像信号が制御装置20に出力される。制御装置20ではこのフリンジパターンの撮像信号に所定の信号処理を施

すことにより、ビームモニタ機構 12c に対する入射光の光学特性に関する情報を得るようになっている。また、同時に制御装置 20 ではエネルギーモニタの出力に基づいて、レーザビーム L B のエネルギーパワーをも検出する。

光源ユニット 12 には、前記レーザ共振器 12a を構成する、エタロン 204 (図 2 の場合)、グレーティング 206 及びエタロン 204 (図 3 の場合)、あるいはグレーティングやプリズム等の分光素子の駆動機構 18 が併設されている (図 2、図 3 参照)。

そして、この駆動機構 18 が、上記ビームモニタ機構 12c に対する入射光の光学特性に関する情報 (ビームモニタ機構 12c の検出結果) に基づいて制御装置 20 により制御され、中心波長及びスペクトル半値幅 (波長幅) が所望の範囲内に制御されるようになっている。この場合、中心波長は、所定範囲、例えば 192.9 nm ~ 193.6 nm の範囲内でほぼ連続的に調節できるようになっている。すなわち、本実施形態では、レーザ共振器 12a から出射されるレーザビーム (ArF エキシマレーザ光) L B の波長を調整する切り換え機構が、駆動機構 18 によって構成されている。

また、制御装置 20 では、通常の露光時には、前記ビームモニタ機構 12c を構成するエネルギーモニタの出力に基づいて検出したエネルギーパワーに基づいて、光源ユニット 12 での 1 パルスあたりのエネルギーが 1 パルスあたりのエネルギーの目標値に対応した値となるように、高圧電源 12d での電源電圧をフィードバック制御する。

この他、光源ユニット 12 のハウジング 13 内におけるビームスプリッタ 12b の照明光学系 14 側には、制御装置 20 からの制御情報に応じてレーザビーム L B を遮光するためのシャッタ 12f も配置されている。

図 4 には、ビームマッチングユニット BMU の構成の一例が示されている。このビームマッチングユニット BMU の主たる機能は、光源ユニット 12 から入射する狭帯域化されたレーザビーム (以下、適宜「紫外パルス光」あるいは

「ArFエキシマレーザ光」ともいう) LBの光路を次に述べる照明光学系14との間で位置的にマッチングさせる、すなわち照明光学系14の光軸に対して常に所定の位置関係で入射するように、紫外パルス光LBの照明光学系14への入射位置や入射角度を最適に調整することにある。

この図4に示されるビームマッチングユニットBMUは、紫外パルス光LBの光路上に順次配置された第1、第2の光遅延素子52、54とから構成されている。

この内、第1の光遅延素子52は、紫外パルス光LBの光路上にその光軸に直交する面に対して所定角度を成す状態で配設され、紫外パルス光LBの一部を透過させ、残りを反射して分割するビームスプリッタとしてのハーフミラー56と、このハーフミラー56による反射光の光路上に配置され、該反射光を所定時間遅延させる三角形の遅延光路64を構成する3枚のミラー58、60、62とから構成されている。ハーフミラー56としては、反射率が約33%~50%程度のものが用いられている。また、遅延光路64の光路長は、一例として、被照射面であるレチクルRのパターン面と共役な光源ユニット12近傍の位置での空間分解能内の光の波長分布で決まる可干渉長 d の2倍である $2d$ とされている。従って、ハーフミラー56で反射された反射光は、ミラー58、60、62を順次経由して、ハーフミラー56を透過した透過光から $2d$ の光路差に対応する時間(以下、便宜上「遅延時間 T 」と呼ぶ)だけ遅れて、ハーフミラー56に戻る。そして、この光は、再びハーフミラー56で透過光と反射光に分割される。そして、この反射光は、前述した透過光(基本光線)と同一の光路に沿って次段の第2の光遅延素子54に向かって進む。この場合、遅延光路内を光が、無限回、巡回するので、原理的には、ハーフミラー56からは無限回光が出てくることになるが、ハーフミラーの反射率やミラーの反射率に起因して3~4廻り目の光はその光量が殆ど零となる。

上述のように、第1の光遅延素子52では、ハーフミラー56で分割された

光相互間に上記遅延時間 T を与えるので、分割された波連において偏光を除去でき、コヒーレンシーを低減できるようになっている。また、この場合、ハーフミラー56を最初に透過する光線を基本光線としている。

前記第2の光遅延素子54は、第1の光遅延素子52から射出される紫外パルス光LBの光路上に配設されたビームスプリッタとしてのハーフミラー66、及び三角形の遅延光路68を形成するように配置された3枚のミラー70、72、74とによって、前述した第1の光遅延素子52とほぼ同様に構成されている。この場合、ハーフミラー66の面の法線方向と、前述したハーフミラー56の面の法線方向とは垂直に交差する向きで、ハーフミラー66が配置されている。従って、前述した遅延光路64によって形成される面と、遅延光路68によって形成される面とは直交する。また、遅延光路68の光路長は、前述した遅延光路64の光路長の3倍である $6d$ に設定されている。

従って、ハーフミラー66で反射された反射光は、ミラー70、72、74を順次経由して、ハーフミラー66を透過した透過光から $6d$ の光路差に対応する時間 $3T$ だけ遅れて、ハーフミラー66に戻る。そして、この光は、再びハーフミラー66で透過光と反射光に分割され、この反射光は、前述した透過光と同一の光路上を後述する照明光学系14内の不図示のビーム整形光学系に向かって進む。この場合も、分割された波連において偏光を除去でき、コヒーレンシーを低減できるようになっている。また、この場合、ハーフミラー66を最初に透過する光線を基本光線としている。

上述のようにして構成されたビームマッチングユニットBMUでは、2つのハーフミラー56、66の偏角を、不図示のオートコリメータを介して制御装置20によって調整することで、照明光学系14の光軸に対して常に所定の位置関係で入射するように、紫外パルス光LBの照明光学系14への入射位置や入射角度を最適に調整する、いわゆる光軸合わせを行うようになっている。ハーフミラー56、66の偏角の調整に併せて、ミラー58、60、62及びミ

ラー 70、72、74 の偏角の調整が制御装置 20 により不図示のオートコリメータを介して行われる。

なお、光遅延素子（光遅延回路）については、特願平 10-117434 号公報及びこれに対応する米国特許出願（シリアル No.）09/300660 号（出願日 1999 年 4 月 27 日）に開示されている。本国際出願で指定した指定国又は選択した選択国の国内法令が許す限りにおいて、上記公報及び米国特許出願における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

さらに、本実施形態では、図 4 中に矢印 C、C'、矢印 D、D' でそれぞれ示されるように、ハーフミラー 56、66 は、それぞれ不図示のスライド機構によって紫外パルス光 LB の光路に対して挿入・離脱（出脱）自在の構造となっている。このスライド機構は、制御装置 20 によって後述するように制御される。ハーフミラー 56、66 が、紫外パルス光 LB の光路上から図 4 中に仮想線でそれぞれ示される位置まで退避された状態では、光源ユニット 12 からのレーザービーム（紫外パルス光）LB は、ダイレクトに照明光学系 14 に入射することは、勿論である。

図 1 に戻り、前記照明光学系 14 は、例えば、特開平 4-196513 号及びこれに対応する米国特許第 5,473,410 号などに詳細に開示されるように、ハウジング内に所定の位置関係で配置されたビーム整形光学系（シリンダレンズやビームエキスパンダから構成される）、エネルギー粗調器、フライアイレンズ等を含む 2 次光源形成光学系、集光レンズ系、レチクルブラインド、及び結像レンズ系等（いずれも図示省略）から構成されている。本国際出願で指定した指定国又は選択した選択国の国内法令が許す限りにおいて、上記公報及び米国特許における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

この照明光学系 14 は、照度分布のほぼ均一な露光用照明光でレチクル R 上の矩形（あるいは円弧状）の照明領域を照明する。この照明光学系 14 内の 2 次光源形成光学系と結像レンズ系との間には、透過率が 97% 程度のビームス

プリッタ 14 a が配置されている。このビームスプリッタ 14 a の反射光路上には、光電変換素子から成るインテグレータセンサと呼ばれる入射光量計測器 22 が配置されている。この入射光量計測器 22 からの光電変換信号が制御装置 20 に供給されるようになっている。入射光量計測器 22 の出力は、予め不図示の基準照度計の出力に対してキャリブレーションされている。また、入射光量計測器 22 の出力に対して前述したエネルギーモニタの出力がキャリブレーションされており、この際に両出力値の変換係数（又は変換関数）が予め求められ、その変換係数が制御装置 20 内のメモリに格納されている。

前記レチクルステージ RST 上にはレチクル R が、例えば静電吸着により固定されている。また、このレチクルステージ RST は、不図示のレチクルベース上をリニアモータ等を含むレチクル駆動部 24 により、所定の走査方向（ここでは Y 軸方向とする）に指定された走査速度で駆動可能となっている。また、このレチクルステージ RST は、レチクル駆動部 24 によって Y 軸に直交する X 軸方向及び X Y 面に直交する Z 軸回りの回転方向（ θ 方向）にも微小駆動可能な構成となっている。

レチクルステージ RST の位置は、レチクルレーザ干渉計（以下、「レチクル干渉計」という）25 により例えば 0.5 ~ 1 nm 程度の分解能で常時検出される。このレチクル干渉計 25 からのレチクルステージ RST の位置情報（又は速度情報）は制御装置 20 に送られ、制御装置 20 ではレチクルステージ RST の位置情報（又は速度情報）に基づいてレチクル駆動部 24 を介してレチクルステージ RST を制御する。

前記投影光学系 PL は、レチクルステージ RST の図 1 における下方に配置され、その光軸 AX の方向が Z 軸方向とされ、ここでは両側テレセントリックな縮小光学系で、鏡筒（ハウジング）内に光軸 AX 方向に沿って所定間隔で配置された複数枚のレンズエレメントから成る屈折光学系が使用されている。この投影光学系 PL の投影倍率は、例えば $1/5$ （あるいは $1/4$ ）である。こ

のため、照明光学系 14 からの照明光によってレチクル R の照明領域が照明されると、このレチクル R を通過した照明光により、投影光学系 PL を介してレチクル R の照明領域内の回路パターンの縮小像（部分倒立像）が表面にフォトリジストが塗布されたウエハ W 上の前記照明領域と共役な露光領域に形成される。

前記ウエハステージ W S T は、投影光学系 PL の下方に配置され、リニアモータ、あるいは磁気浮上型平面モータ等を含む駆動装置 26 によって、不図示のウエハベース上を X Y 2 次元平面内で駆動される。このウエハステージ W S T の上面に不図示のウエハホルダを介して基板としてのウエハ W が例えば静電吸着により固定されている。

また、このウエハステージ W S T の上面には、移動鏡 28 が設けられ、この移動鏡 28 に測長ビームを照射するウエハレーザ干渉計（以下、「ウエハ干渉計」という）30 によってウエハステージ W S T の X Y 面内の位置が例えば 0.5 ~ 1 nm 程度の分解能で常時検出される。このウエハ干渉計 30 からのウエハステージ W S T の位置情報（又は速度情報）は制御装置 20 に送られ、制御装置 20 ではウエハステージ W S T の位置情報（又は速度情報）に基づいて駆動装置 26 を介してウエハステージ W S T を制御する。

さらに、ウエハステージ W S T の上面には、光電変換素子から成る出射光量計測器 32 が固定されている。この出射光量計測器 32 の受光面は、ウエハ W の表面とほぼ同一高さに設定されている。出射光量計測器 32 からの光電変換信号は、制御装置 20 に供給されるようになっている。

出射光量計測器 32 の出力は、前述した入射光量計測器 22 の出力に対して予めキャリブレーションされており、両出力の変換係数（又は変換関数）は予め求められて制御装置 20 のメモリ内に格納されている。

さらに、本実施形態の露光装置 10 では、前記光学系、すなわちビームマッチングユニット B M U、照明光学系 14、及び投影光学系 PL のそれぞれに給

気配管系と排気配管系とがそれぞれ接続されている。

これを更に詳述すると、給気配管系は、第1、第2及び第3の給気配管34 A、34 B、34 Cを含んで構成されている。これら第1、第2及び第3の給気配管34 A、34 B、34 Cのそれぞれの一端は、ビームマッチングユニットBMU（のハウジング）、照明光学系14（のハウジング）及び投影光学系PL（の鏡筒）にそれぞれ接続されている。また、これら3つの給気配管34 A、34 B、34 Cの他端側はそれぞれ二股状に分岐され、各二股状の分岐部のそれぞれの一方は不図示のガスタンク（この内部には、窒素ガス N_2 （酸素含有量1%以下）が収容されている）に接続され、それぞれの他方は内部に乾燥空気（Dry Air）が収容された不図示の空気タンクに接続されている。

第1の給気配管34 Aの他端側の二股状の分岐部のそれぞれの途中には、当該各分岐部の管路（気体通路）を開閉する第1、第2電磁弁38 A、38 Bがそれぞれ設けられている。同様に、第2の給気配管34 Bの他端側の二股状の分岐部のそれぞれの途中には、当該各分岐部の管路（気体通路）を開閉する第3、第4電磁弁38 C、38 Dがそれぞれ設けられている。同様に、第3の給気配管34 Cの他端側の二股状の分岐部のそれぞれの途中には、当該各分岐部の管路（気体通路）を開閉する第5、第6電磁弁38 E、38 Fがそれぞれ設けられている。

上記第1～第6電磁弁38 A～38 Fは、制御装置20によって開閉制御される（これについては後述する）。

前記排気配管系は、それぞれの一端がビームマッチングユニットBMU（のハウジング）、照明光学系14（のハウジング）、投影光学系PL（の鏡筒）にそれぞれ接続された第1、第2及び第3排気管40 A、40 B、40 Cと、これら3つの排気管40 A、40 B、40 Cの他端がそれぞれ接続された排気本管42とを備えている。

第1、第2及び第3排気管40 A、40 B、40 Cには、それぞれの排気管

の管路（気体通路）内を流れる気体の酸素濃度を検出する第1、第2及び第3酸素センサ44A、44B、44Cがそれぞれ設けられている。これら3つの酸素センサ44A、44B、44Cの検出結果は制御装置20に供給されている。

前記制御装置20は、マイクロコンピュータ（あるいはワークステーション）を中心として構成され、上述した露光装置10の構成各部の動作及び上記第1～第6電磁弁38A～38Fの開閉を制御する。また、この制御装置20は、例えば、入射光量計測器22の出力とビームモニタ機構12cを構成するエネルギーモニタの出力とに基づいて光源ユニット12からビームスプリッタ14aの位置までの光学系の透過率（以下、適宜「第1の透過率」と呼ぶ）を算出し、また、入射光量計測器22の出力と出射光量計測器32の出力とに基づいて、ビームスプリッタ14aの位置からウエハ面までの光学系の透過率（以下、適宜「第2の透過率」と呼ぶ）を算出する演算機能をも有する。

次に、上述のようにして構成された露光装置10における光学系（ビームマッチングユニットBMU、照明光学系14、投影光学系PL）の自己洗浄動作、より正確には前記光学系を構成する光学素子（レンズ、ビームスプリッタ等）の自己洗浄動作について、制御装置20の制御動作を中心として説明する。

前提条件として、第1～第6電磁弁38A～38Fは、閉成されているが、排気管系及び光学系の内部には、酸素を1%以下含む高濃度の窒素ガス（第1の気体）が残存しているものとする。

自己洗浄動作の開始に当たり、制御装置20では、第2、第4及び第6電磁弁38B、38D、38Fを開成する。これにより、不図示の空気タンクから乾燥空気（第2の気体）が第1、第2及び第3の給気管34A、34B、34Cをそれぞれ介してビームマッチングユニットBMU、照明光学系14及び投影光学系PL内に供給され始める。

次に、制御装置20では、光源ユニット12内の高圧電源12dに対するト

リガパルスの出力を開始してレーザ共振器 12 a からのレーザビーム L B の発光を開始する。このときはまだ、光源ユニット 12 内のシャッタ 12 f は閉成しているものとする。

上記のレーザビーム L B の発光開始により、レーザビーム（パルス紫外光）L B がビームスプリッタ 12 b を介してビームモニタ機構 12 c に入射し、ビームモニタ機構 12 c から前述したフリンジパターンの撮像信号及びパルスエネルギー値の情報が制御装置 20 に供給される。

次に、制御装置 20 では、ビームモニタ機構 12 c からの情報に基づいてレーザビームの波長をほぼ 193.23 nm に変更するため、駆動機構 18 を介してレーザ共振器 12 a を構成するエタロン 204（又はグレーティング 206）の角度を調整する。これにより、レーザ共振器 12 a から出射されるレーザビーム L B の波長が 193.23 nm に変更される。

ここで、上記の A r F エキシマレーザ光の波長を 193.23 nm に調整する理由について説明する。図 5 には、波長 193.3 nm 近傍の乾燥空気雰囲気中を透過した A r F エキシマレーザ光の光強度分布が示されている。この図 5 において、横軸は光の波長（nm）であり、縦軸は光強度（エネルギー強度）である。すなわち、この図 5 は A r F エキシマレーザ光の酸素吸収スペクトルを実質的に示すものである。

この図 5 から明らかなように、波長 193 nm 付近は、わずかな波長の違いで酸素による光の吸収が大きく変化する。この図 5 の光強度分布を一見すると、193.02 nm 付近が光強度は最も小さく、酸素による吸収量が最大であるように見える。しかしながら、波長 192.9 nm ~ 193.6 nm の波長帯域では、A r F エキシマレーザ光源からのブロード（狭帯域化前）の光強度分布は、ほぼ山形になっており、波長 193.02 nm 近傍ではもともと光強度が小さい。このため、この波長近傍に A r F エキシマレーザ光の波長を調整しても、酸素による吸収エネルギー量はそれほど大きくならない。これに対して、

上記の波長 193.23 nm 近傍は、もともと光強度が大きく、しかも乾燥空気雰囲気中を透過した ArF エキシマレーザ光の光強度がその前後の波長帯域と比較して小さくなっているため、結論的には調整可能な波長帯域の中で酸素による吸収エネルギー量が最も大きくなる波長であると言える。そこで、本実施形態では ArF エキシマレーザ光の波長を 193.23 nm に調整することにより、酸素により最大限効率的に ArF エキシマレーザ光の光エネルギーを吸収させ、光化学反応により最大限オゾン O_3 を発生させて、そのオゾンの酸化作用により光学素子を効果的に洗浄しようとするものである。

また、上記の波長変更とほぼ並行して、制御装置 20 では、ビームマッチングユニット BMU を構成するハーフミラー 56、66 を、不図示のスライド機構を介して図 4 中に矢印 C、D で示される方向に駆動して図 4 中に仮想線で示されるレーザビーム LB の光路外の位置に退避させる。このようにするのは、次に説明する光洗浄の際に、光源ユニット 12 からの波長を 193.23 nm のレーザビーム LB (第 2 の光) が、ビームマッチングユニット BMU を構成する第 1、第 2 の光遅延素子 52、54 (各光学素子) を介することなく、ダイレクトに照明光学系 14 内に入射するようにするためである。その理由は、第 1、第 2 の光遅延素子 52、54 を介すると、その分照明光学系 14 以降に照射されるレーザビーム LB の強度が低下し、それによりオゾンが発生する光化学反応の程度が低くなると共に、オゾンの酸化作用による光学素子の光洗浄効果が低下するから、これを避けるためである。すなわちレーザビームのピークパワーを極力高く維持して効率的な光学素子の洗浄を行い、洗浄時間の短縮化を図るためである。

上記の波長変更及びハーフミラー 56、66 の退避の後、制御装置 20 では、光源ユニット 12 内のシャッタ 12f を開成する。これにより、光源ユニット 12 からのレーザビーム LB の出射が開始され、該レーザビーム LB がビームマッチングユニット BMU、照明光学系 14、投影光学系 PL の内部空間の気

体、及び照明光学系 14、投影光学系 PL を構成する各光学素子に対し照射される。これにより波長 193.23 nm の ArF エキシマレーザ光（第 2 の光）によって自己洗浄が開始される。この自己洗浄が開始される直前若しくは直後には、光学系内部の第 1 の気体は、乾燥空気にほぼ完全に置換される。

上記の自己洗浄開始直後に、制御装置 20 では、干渉計 30 の出力をモニタしつつ駆動装置 26 を制御して出射光量計測器 32 が投影光学系 PL の直下に位置するように、ウエハステージ WST を移動させる。そして、このときの入射光量計測器 22 の出力、ビームモニタ機構 12c を構成するエネルギーモニタの出力、及び出射光量計測器 32 の出力を同時に取り込み、前述した第 1 の透過率及び第 2 の透過率を算出した後、出射光量計測器 32 が投影光学系 PL の直下から退避するようにウエハステージ WST を移動させる。以後、所定時間間隔で、上記の出射光量計測器 32 の投影光学系 PL 直下への位置決め、及びその投影光学系 PL の直下の位置から退避するためのウエハステージ WST の移動、並びに第 1、第 2 の透過率の測定・算出を繰り返し行う。

上記の状態、レーザ共振器 12a からのレーザビーム LB の出力を続行すると、照明光学系 14 及び投影光学系 PL の光学素子表面に付着した汚染物質中の有機物がレーザエネルギーにより切断されるとともに、酸素の光化学反応により発生したオゾンによる酸化作用によって、ビームマッチングユニット BMU、照明光学系 14 及び投影光学系 PL の光学素子表面に付着した汚染物質が洗浄されるため、光学系の透過率が徐々に上昇する。

そして、制御装置 20 では、前述の如く、所定時間間隔で求めた第 1、第 2 の透過率の変化を監視し、それらの透過率の変化率がともに所定値以下、例えばほぼ零になったとき、すなわち、第 1、第 2 の透過率の時間変化が飽和状態となったときに、光学素子の洗浄が終わったと判断して、光源ユニット 12 内のシャッタ 12f を閉じ、光源ユニット 12 内の高圧電源 12d に対するトリガパルスの出力を停止する。

本実施形態では、以上のような光学素子の洗浄動作を、光学系内の光学素子に汚れが付着しやすく洗浄の必要性が高いとき、例えば、露光装置製造直後、長期間の運転停止後、あるいは露光条件又は照明条件の変更時（具体的には、照明光学系 14 内の開口絞りの交換時、レチクル交換時、投影光学系 PL 内の瞳開口変更時等）などに行なうようになっており、装置の運転中のダウンタイムの増加を極力最小限にして効率的な光学素子の洗浄を行い、露光装置本来の性能を常に引き出すようにしている。

次に、露光装置 10 における露光動作の流れについて簡単に説明する。

まず、制御装置 20 の管理下にある不図示のレチクルロード及びウエハロードによってレチクルロード及びウエハロードが行われる。

上記のレチクルロードに先立って、上述した光学系の自己洗浄が行われており、その自己洗浄の終了後に、次のようにしてエキシマレーザ光の波長調整、及び光学系内の乾燥空気を窒素ガスに置換するガス置換などが行われる。

すなわち、制御装置 20 では、光学素子の洗浄が終了したと前述の如くして判断すると、光源ユニット 12 内のシャッタ 12 f を閉成し、ビームモニタ機構 12 c の出力をモニタしつつ、レーザ共振器 12 a から出力されるレーザビーム LB の波長が露光波長である 193.30 nm になるように駆動機構 18 を制御する。これにより、シャッタ 12 f を開けば、光源ユニット 12 から露光波長のレーザビーム LB（第 1 の光）が出力されることとなる。但し、この段階では、シャッタ 12 f は未だ閉成している。

また、制御装置 20 では上記のシャッタの閉成とほぼ同時に、第 2、第 4 及び第 6 電磁弁 38 B、38 D、38 F を閉成するとともに第 1、第 3 及び第 5 電磁弁 38 A、38 C、38 E を開成する。これにより、不図示のガスタンクから酸素含有量が 1% 以下の高濃度の窒素ガス（第 1 の気体）が第 1、第 2 及び第 3 の給気管 34 A、34 B、34 C をそれぞれ介してビームマッチングユニット BMU、照明光学系 14 及び投影光学系 PL 内に供給され、所定時間経

過後に、ビームマッチングユニットBMU、照明光学系14及び投影光学系PL内に残存していた乾燥空気が窒素ガスにほぼ完全に置換される。この場合、制御装置20では第1、第2、第3酸素センサ44A、44B、44Cの出力がともに酸素濃度1%以下になった時点をもって光学系内の気体の窒素ガスでの置換が完了したと判断する。

さらに、制御装置20では、上記のシャッタ12fの開成とほぼ同時に、不図示のスライド機構を介してビームマッチングユニットBMUを構成するハーフミラー56、66を、図4中に矢印C'、D'でそれぞれ示される方向に駆動して、図4中に実線で示されるレーザビームLBの光路上の位置に挿入する。この場合、前述した光軸合わせ及びこれに付随するミラー58、60、62、70、72、74の傾角の調整は、予め行われ、ハーフミラー56、66、ミラー58、60、62、70、72、74の傾角は、そのときの状態に維持されているものとする。

なお、このとき、制御装置20では、必要であれば、シャッタ12fを開成して、不図示のオートコリメータを介して前述した光軸合わせ、及びこれに付随するミラー58、60、62、70、72、74の傾角の調整を行った後、シャッタ12fを閉成しても良い。

いずれにしても、次にシャッタ12fが開成されると、光源ユニット12から出力された露光波長のレーザビームLB（第1の光）が、ビームマッチングユニットBMUを構成する第1、第2の光遅延素子52、54を経由して、照明光学系14内に導かれることとなる。これにより、照射面であるレチクルRのパターン面等における可干渉性の低減が図られるようになっている。

上記のレーザ波長の切り換え、光学系内ガスの窒素ガス置換並びにハーフミラー56、66の光路上への挿入（並びに光軸調整等）が終了すると、制御装置20により、不図示のレチクル顕微鏡、ウエハステージWST上の不図示の基準マーク板、不図示のアライメント検出系を用いてレチクルアライメント、

ベースライン計測等の準備作業が所定の手順に従って行われる。このとき、制御装置 20 では、上記のレチクルアライメントを、シャッタ 12 f を開成して、露光波長の光を用いて行う。なお、レチクルアライメント、ベースライン計測等の準備作業については、例えば特開平 4-324923 号公報及びこれに対応する米国特許第 5,243,195 号に詳細に開示されている。本国際出願で指定した指定国又は選択した選択国の国内法令が許す限りにおいて、上記公報及びこれに対応する米国特許における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

なお、レチクルアライメントを露光波長以外の波長の光で行う場合には、上記のレーザ波長の切り換え、光学系内ガスの窒素ガス置換などを上記の準備作業と並行して行っても良い。

その後、制御装置 20 により、不図示のアライメント検出系を用いて例えば特開昭 61-44429 号公報及びこれに対応する米国特許第 4,780,617 号等に詳細に開示される EGA (エンハンスト・グローバル・アライメント) 等のアライメント計測が実行される。本国際出願で指定した指定国又は選択した選択国の国内法令が許す限りにおいて、上記公報及びこれに対応する上記米国特許における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

上記のアライメント計測の終了後、以下のようにしてステップ・アンド・スキャン方式の露光動作が行われる。

この露光動作にあたって、まず、制御装置 20 では、ウエハ W の X Y 位置が、ウエハ W 上の最初のショット領域 (ファースト・ショット) の露光のための走査開始位置となるように、ウエハステージ W S T を移動する。同時に、制御装置 20 では、レチクル R の X Y 位置が、走査開始位置となるように、レチクルステージ R S T を移動する。また、制御装置 20 では、レチクル干渉計 25 によって計測されたレチクル R の X Y 位置情報、ウエハ干渉計 30 によって計測されたウエハ W の X Y 位置情報に基づき、レチクル駆動部 24 及び駆動装置 2

6を介してレチクルRとウエハWとを投影光学系PLの投影倍率に応じた速度比で相互に逆向きにY軸方向に沿って同期移動させることにより、走査露光を行う。この走査露光中の光量制御は、入射光量計測器22の出力及びエネルギーモニタの出力に基づいて、例えばレーザ共振器12aから出力されるレーザビームのパルスエネルギー、あるいはレーザ共振器12aの発振周波数を調整することにより行われる。

このようにして、1つのショット領域に対するレチクルパターンの転写が終了すると、ウエハステージWSTが1ショット領域分だけステッピングされて、次のショット領域に対する走査露光が行われる。このようにして、ステッピングと走査露光とが順次繰り返され、ウエハW上に必要なショット数のパターンが転写される。

上記のウエハ上の各ショット領域に対する走査露光に際して、予め光学系内の光学素子が洗浄され、その光学性能を最大限発揮できる状態となっているので、走査露光時における光学系の結像性能の劣化に起因するウエハ上の転写パターンの劣化を防止することができる。また、走査露光中には、ビームマッチングユニットBMUを構成する第1、第2の光遅延素子52、54の可干渉性低減の機能により、被照射面であるレチクルRのパターン面及びこれに共役なウエハWの被露光面における干渉縞やスペckルの発生が効果的に抑制されるので、パターン線幅の制御性が向上している。

これまでの説明から明らかなように、本実施形態では、上記の第1、第2の光遅延素子52、54と、該光遅延素子52、54をそれぞれ構成するビームスプリッタ56、66をレーザビームLBの光路上に挿入・離脱する不図示のスライド機構とによって、光源ユニット12からレチクルRの配置面に至る光の光路の一部に配置され、その出射光の強度を調整可能な調整装置が構成されている。

以上詳細に説明したように、本実施形態の露光装置10によると、光学系(ビ

ームマッチングユニットBMU、照明光学系14、投影光学系PL)の自己洗浄動作、より正確には前記光学系を構成するハウジング内の光学素子(レンズ、ビームスプリッタ等)の自己洗浄動作を、酸素によるエネルギー吸収が最大となる波長のレーザービームによって行い、この際に、光学系内に酸素を積極的に含む乾燥空気を注入し、光路全体に酸素が十分ある状態で行うので、レーザービームのエネルギーによる有機物切断に加えて、酸素の光化学反応により生じたオゾンの酸化作用によって光学素子に付着した汚染物質を洗浄することができ、短時間で効率的に洗浄を行うことができる。また、この洗浄の際には、洗浄に用いられるレーザービームの強度が露光時に比べて高くなるように、ハーフミラー56、66が光路上から退避されるので、より大きな洗浄効果を得ることができる。従って、作業効率の向上により、集積回路等のマイクロデバイスの製造コストの低減が可能になるとともに、高エネルギービーム(Arfエキシマレーザー光)の照射による硝材のダメージを小さくすることができる。

また、露光に際しては、予め(その直前に)、光学系の光学素子の自己洗浄を行い、その透過率を最良に維持した状態で露光を行い、ウエハ上の転写パターン劣化を防止することができる。

また、この露光の際には、レーザービームの光路上にビームスプリッタ56、66を挿入し、第1、第2の光遅延素子52、54による光遅延を行って、被照射面における可干渉性を極力低減する。これにより、ウエハ面(像面)における微弱な干渉縞やスペックルの発生が効果的に抑制され、ウエハ上に転写されるパターン線幅の制御性(例えば、線幅均一性)が向上する。また、この場合、レーザービームが第1、第2の光遅延素子52、54を経由することにより、露光時に照射される露光光の強度が低下するので、その分、ハウジング内の窒素中に僅か(1%以下)ではあるが含まれる酸素の光化学反応の発生が抑制され、そのオゾンによる露光光の吸収を抑制することができる。これにより、露光光の透過率の低下を防止することができる。

従って、本実施形態によると、最終的に製造される集積回路等のマイクロデバイスの歩留まりが向上し、この意味においてもマイクロデバイスの製造コストの低減が可能である。

なお、本実施形態の露光装置 10 では、光学系の一部、すなわち、ビームマッチングユニット BMU、照明光学系 14、投影光学系 PL のいずれか 1 つ又は 2 つのみの光学素子の洗浄をも簡単に行なうことができる。

例えば、最も洗浄が困難なレーザ発振器 12a から遠い、投影光学系 PL 内の光学素子のみを洗浄する場合には、第 1 電磁弁 38A 及び第 3 電磁弁 38C を開成したまま（この場合、第 2 電磁弁 38B、及び第 4 電磁弁 38D は閉成状態となっている）、第 5 電磁弁 38E を閉成し第 6 電磁弁 38F を開成した状態で自己洗浄を行えば良い。このようにすれば、上方のビームマッチングユニット BMU、照明光学系 14 内部に窒素ガスが常時流れ込んでいる状態で、かつ投影光学系 PL 内に酸素が十分ある状態で自己洗浄が開始されるので、ビームマッチングユニット BMU、照明光学系 14 内における酸素によるレーザビームのエネルギー吸収をほぼ防止した状態で、投影光学系 PL 内の光学素子を効率的に洗浄することが可能になる。

なお、上記実施形態では、光学系内の窒素ガス（第 1 の気体）を乾燥空気（酸素を十分に含む第 2 の気体の一例）により置換した状態で光学素子の洗浄を行う場合について説明したが、本発明がこれに限定されるものではない。

例えば、図 6 に示されるように、第 1、第 2 及び第 3 の給気管 34A、34B、34C を介して乾燥空気に代えて乾燥空気とオゾン O_3 との混合ガス（酸素及びオゾンを含む第 3 の気体の一例）を供給可能な構成にしても良い。この場合には、ビームマッチングユニット BMU 及び照明光学系のハウジング、及び投影光学系 PL の鏡筒（ハウジングの一種）内の窒素ガスが乾燥空気とオゾンとの混合ガスによって置換された状態で、前記各ハウジング内に波長 193.23 nm の ArF エキシマレーザ光（真空紫外光）が照射されるので、ArF

エキシマレーザ光のエネルギーにより光学素子表面に付着した汚れ物質中の有機物が切断され、酸素の光化学反応により発生したオゾン及び混合ガス中にもともと含まれるオゾンの酸化作用により、より一層効率良く光学素子が洗浄される。

また、上記実施形態では、光学系内の光学素子を洗浄する際に、ビームマッチングユニットBMU及び照明光学系のハウジング、及び投影光学系PLの鏡筒（ハウジングの一種）内の窒素ガスを乾燥空気に置換した状態で洗浄を行う場合について説明したが、これに限らず、かかるガスの置換を行うことなく、すなわち各ハウジング内に窒素ガスを供給したままの状態、光源ユニット12から出力されるレーザビームの波長を193.23nmに切り換えて、その波長のレーザビームを所定時間照射して光学素子の自己洗浄を行っても良い。この場合にも、ハウジング内の窒素には僅か（1%以下）ではあるが酸素が含まれているので、その酸素によってレーザビーム（エネルギー）が吸収され、光化学反応によりオゾンが発生し、そのオゾンの酸化作用により光学素子表面に付着した汚染物質が除去され、従来の露光波長のまま洗浄を行う場合に比べて効率良く光学素子が洗浄される。従って、光学素子を従来に比べてより短時間で十分に洗浄することが可能になり、紫外光の照射時間そのものを短縮することができるので、硝材のダメージを低減させることができる。

また、上記のガス置換を行わない場合において、上記実施形態と同様に、照明光学系14内等に照射されるレーザビームの強度を露光時より高くするのであれば、光源ユニット12から射出されるレーザビームLBの波長の切り替えも必ずしも行わなくても良い。かかる場合であっても、ハウジング内の窒素には僅か（1%以下）ではあるが酸素が含まれているので、その酸素によってレーザビーム（エネルギー）が吸収され、光化学反応によりオゾンが発生し、そのオゾンの酸化作用により光学素子表面に付着した汚染物質が除去され、露光時と同一の強度の光により、自己洗浄を行う場合に比べて、効率良く光学素子が

洗浄される。また、この場合、露光時に照射される露光光の強度は洗浄時に比べて低下するので、その分、ハウジング内の窒素中に僅か（１％以下）ではあるが含まれる酸素の光化学反応の発生が抑制され、そのオゾンによる露光光の吸収を抑制することができる。これにより、露光光の透過率の低下を防止することができる。

なお、上記実施形態では、照明光学系１４、投影光学系ＰＬ等の光学素子の洗浄に際して、紫外光を所定時間光学系ハウジング内の光学素子に照射する場合について説明したが、必ずしもこのようにしなくても良い。すなわち、前述したビームマッチングユニットＢＭＵ内の各光学素子の洗浄と同様に、それらのハウジング内の気体に紫外光を照射するようにしても良い。ハウジング内に酸素が十分にある状態であれば、その光学系内の光学素子に直接当たらない状態でそのハウジング内の気体に紫外光を照射することにより、その気体中の酸素の光化学反応によりオゾンが発生し、そのオゾンの酸化作用により光学素子を洗浄することが可能だからである。

また、上記実施形態では、露光波長の第１の光（波長１９３．３０ｎｍのパルス紫外光）と該第１の光に比べて酸素による吸収が大きい波長の第２の光（波長１９２．２３ｎｍのパルス紫外光）とを制御装置２０が駆動機構１８を介して単一の光源ユニット１２から出力される光の波長を切り換えて出力する場合について説明したが、これに限らず、例えば露光波長の第１の光を出射する第１の光源と、第１の光に比べて酸素による吸収が大きい波長の第２の光を出射する第２の光源とを設け、制御装置２０が、これらの第１の光源からの第１の光と第２の光源からの第２の光とを択一的に照明用光学系（ＢＭＵ、１４）に導くようにしても良い。この場合、制御装置２０は第１、第２の光源又はそれに付属するシャッタを択一的にオン・オフするようにしても良いが、各光源と照明光学系１４との間の光路上に、適宜な光路切り換え装置を設けてこれを切り換えるような構成にしても良い。

また、上記実施形態では、露光波長の第1の光（上記実施形態では波長193.30nmのパルス紫外光）と該第1の光に比べて酸素による吸収が大きい波長の第2の光（上記実施形態では波長192.23nmのパルス紫外光）の切り替えを、光源ユニット12から出力される光の波長を切り替える、波長シフトにより行う場合について説明したが、これに限らず、例えば、図2に示されるレーザ共振器12aを用いる場合、狭帯域化モジュールを構成する微調用のエタロン204を、矢印A、A'で示されるように、制御装置20によって制御される駆動機構18によって光路中に挿脱可能に構成しても良い。この場合、エタロン204を光路上から取り外すことにより、波長幅が酸素吸収帯を含む波長幅に変更される。これにより、上記の露光波長の第1の光と該第1の光に比べて酸素による吸収が大きい波長の第2の光の切り替えを実現することができる。

あるいは、例えば図3に示されるレーザ共振器12aを用いる場合には、露光時に用いられるエタロン204とは別に、図3中に点線で示される光洗浄時専用のエタロン207を用意しておき、制御装置20により制御される駆動機構18により、露光時と洗浄時とで、エタロン204とエタロン207とを図3中の矢印B、B'で示されるように交換可能に構成しても良い。この場合、エタロン207は、酸素吸収帯を含む波長域を抽出できるものであれば良い。このようにすると、光源（エキシマレーザチャンバ202）からの出射光の波長幅が変更され、第1の光と第2の光の切り替えを実現することができる。

また、上記実施形態では、三角形状の遅延光路を有する第1、第2の光遅延素子52、54をビームマッチングユニットBMU内に含む場合について説明したが、これに限らず、四角形状の遅延光路を有する光遅延素子を用いても良い。この場合、その光遅延光路を、4枚のミラーに限らず、4つのプリズム等の反射光学素子を用いて構成しても良い。

また、上記実施形態の露光装置において、光洗浄を行う際に、光の波長を切

り替える波長シフト、波長幅の変更、光の強度の変更のいずれか1つを行っても良く、あるいはこれらの2つ以上を任意に組み合わせて行っても良い。

なお、上記実施形態では、本発明がA r Fエキシマレーザ装置を光源とする半導体製造用のステップ・アンド・スキャン方式の走査型露光装置（スキャニング・ステッパ）に適用された場合について説明したが、本発明の適用範囲がこれに限定されるものではなく、例えばA r Fエキシマレーザ装置を光源とするステップ・アンド・リピート方式の投影露光装置（ステッパ）は勿論、液晶用のA r Fエキシマレーザステッパ、A r Fエキシマレーザスキャニング・ステッパ等にも好適に適用できる。また、A r Fエキシマレーザと同様の真空紫外域に属するF₂レーザの波長帯域でも酸素による吸収が波長によって異なる現象が生じると予想されるので、露光光源としてF₂レーザ光源を用いる露光装置にも本発明は適用可能である。この露光装置では、光学系内部、照明光学系と投影光学系との間及び投影光学系と基板との間の空気がヘリウムガスで置換されるので、洗浄時には157nm近傍の波長帯域の中で、酸素によるレーザ光の吸収が大きな波長に設定し、光学系の各ハウジング内に酸素を含む気体（酸素とオゾンを含む気体を含む）を供給してそのヘリウムガスをその気体で置換して、上記実施形態と同様にして光学素子の自己洗浄を行うことにより、同等の効果が期待できる。

なお、上記実施形態では、露光時に光路内に供給されるガスを窒素としたが、これに限らず、他の不活性ガス、例えば、ヘリウム、ネオン、アルゴン、クリプトン、キセノン、ラドンより成る希ガスを使用しても良く、又は、これらのガスを2種類以上混合した混合ガスを用いても良い。

さらに、投影光学系は、全ての光学素子が屈折系のレンズに限られず、反射素子（ミラー）で構成されるものや、屈折系のレンズと反射素子とから成る反射屈折系であっても良い。また、投影光学系は、縮小系に限られず、等倍系、拡大系であっても良い。

上記の反射屈折型の投影光学系としては、例えば特開平 8-171054 号公報及びこれに対応する米国特許第 5,668,672 号、並びに特開平 10-20195 号公報及びこれに対応する米国特許第 5,835,275 号など
に開示される、反射光学素子としてビームスプリッタと凹面鏡とを有する反射屈折系を用いることができる。また、特開平 8-334695 号公報及びこれに対応する米国特許第 5,689,377 号、並びに特開平 10-3039 号公報及びこれに対応する米国特許出願第 873,605 号（出願日：1997 年 6 月 12 日）など
に開示される、反射光学素子としてビームスプリッタを用いずに凹面鏡などを有する反射屈折系を用いることができる。本国際出願で指定した指定国又は選択した選択国の国内法令が許す限りにおいて、上記各公報及びこれらに対応する米国特許、及び米国特許出願における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

この他、米国特許第 5,031,976 号、第 5,488,229 号、及び第 5,717,518 号に開示される、複数の屈折光学素子と 2 枚のミラー（凹面鏡である主鏡と、屈折素子又は平行平板の入射面と反対側に反射面が形成される裏面鏡である副鏡）とを同一軸上に配置し、その複数の屈折光学素子によって形成されるレチクルパターンの中間像を、主鏡と副鏡とによってウエハ上に再結像させる反射屈折系を用いても良い。この反射屈折系では、複数の屈折光学素子に続けて主鏡と副鏡とが配置され、照明光が主鏡の一部を通過して副鏡、主鏡の順に反射され、さらに副鏡の一部を通過してウエハ上に達することになる。本国際出願で指定した指定国又は選択した選択国の国内法令が許す限りにおいて、上記米国特許における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

さらに、反射屈折型の投影光学系としては、例えば円形イメージフィールドを有し、かつ物体面側、及び像面側が共にテレセントリックであるとともに、その投影倍率が $1/4$ 倍又は $1/5$ 倍となる縮小系を用いても良い。また、この反射屈折型の投影光学系を備えた走査型露光装置の場合、照明光の照射領域

が投影光学系の視野内でその光軸をほぼ中心とし、かつレチクル又はウエハの走査方向とほぼ直交する方向に沿って延びる矩形スリット状に規定されるタイプであっても良い。かかる反射屈折型の投影光学系を備えた走査型露光装置によれば、例えば波長 157 nm の F_2 レーザ光を露光用照明光として用いても 100 nm L/S パターン程度の微細パターンをウエハ上に高精度に転写することが可能である。

また、エキシマレーザの代わりに、例えば波長 248 nm 、 193 nm 、 157 nm のいずれかに発振スペクトルを持つYAGレーザなどの固定レーザの高調波を用いるようにしても良い。DFB半導体レーザ又はファイバーレーザから発振される赤外域、又は可視域の単一波長レーザ光を、例えばエルビウム（又はエルビウムとイッテルビウムの両方）がドープされたファイバーアンプで増幅し、非線形光学結晶を用いて紫外光に波長変換した高調波を用いても良い。

例えば、単一波長レーザの発振波長を $1.51\sim1.59\text{ }\mu\text{m}$ の範囲内とすると、発生波長が $189\sim199\text{ nm}$ の範囲内である8倍高調波、又は発生波長が $151\sim159\text{ nm}$ の範囲内である10倍高調波が出力される。特に発振波長を $1.544\sim1.553\text{ }\mu\text{m}$ の範囲内とすると、発生波長が $193\sim194\text{ nm}$ の範囲内の8倍高調波、即ちArFエキシマレーザとほぼ同一波長となる紫外光が得られ、発振波長を $1.57\sim1.58\text{ }\mu\text{m}$ の範囲内とすると、発生波長が $157\sim158\text{ nm}$ の範囲内の10倍高調波、即ち F_2 レーザとほぼ同一波長となる紫外光が得られる。

また、発振波長を $1.03\sim1.12\text{ }\mu\text{m}$ の範囲内とすると、発生波長が $147\sim160\text{ nm}$ の範囲内である7倍高調波が出力され、特に発振波長を $1.099\sim1.106\text{ }\mu\text{m}$ の範囲内とすると、発生波長が $157\sim158\text{ nm}$ の範囲内の7倍高調波、即ち F_2 レーザとほぼ同一波長となる紫外光が得られる。なお、単一波長発振レーザとしてはイッテルビウム・ドープ・ファイバーレー

ザを用いる。

また、露光光源としては、波長146nmのKr₂レーザ（クリプトン・ダイマーレーザ）、波長126nmのAr₂レーザ（アルゴン・ダイマーレーザ）、又はYAGレーザの高調波発生装置や半導体レーザの高調波発生装置などの真空紫外光を発生する光源を使用しても良い。

なお、複数のレンズから構成される照明光学系、投影光学系を露光装置本体に組み込み光学調整をするとともに、多数の機械部品からなるレチクルステージやウエハステージを露光装置本体に取り付けて配線や配管を接続し、更に総合調整（電気調整、動作確認等）をすることにより本実施形態の露光装置を製造することができる。露光装置の製造は温度およびクリーン度等が管理されたクリーンルームで行うことが望ましい。

また、半導体デバイスは、デバイスの機能・性能設計を行うステップ、この設計ステップに基づいたレチクルを製作するステップ、シリコン材料からウエハを製作するステップ、前述した実施形態の露光装置によりレチクルのパターンをウエハに転写するステップ、デバイス組み立てステップ（ダイシング工程、ボンディング工程、パッケージ工程を含む）、検査ステップ等を経て製造される。

以下、デバイス製造方法について更に詳細に説明する。

《デバイス製造方法》

次に、上述した露光装置及び露光方法をリソグラフィ工程で使用したデバイスの製造方法の実施形態について説明する。

図7には、デバイス（ICやLSI等の半導体チップ、液晶パネル、CCD、薄膜磁気ヘッド、マイクロマシン等）の製造例のフローチャートが示されている。図7に示されるように、まず、ステップ401（設計ステップ）において、デバイスの機能・性能設計（例えば、半導体デバイスの回路設計等）を行い、その機能を実現するためのパターン設計を行う。引き続き、ステップ402（マスク製作ステップ）において、設計した回路パターンを形成したマスクを製作

する。一方、ステップ403（ウエハ製造ステップ）において、シリコン等の材料を用いてウエハを製造する。

次に、ステップ404（ウエハ処理ステップ）において、ステップ401～ステップ403で用意したマスクとウエハを使用して、後述するように、リソグラフィ技術等によってウエハ上に実際の回路等を形成する。次いで、ステップ405（デバイス組立ステップ）において、ステップ404で処理されたウエハを用いてデバイス組立を行う。このステップ405には、ダイシング工程、ボンディング工程、及びパッケージング工程（チップ封入）等の工程が必要に応じて含まれる。

最後に、ステップ406（検査ステップ）において、ステップ405で作製されたデバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行う。こうした工程を経た後にデバイスが完成し、これが出荷される。

図8には、半導体デバイスの場合における、上記ステップ404の詳細なフロー例が示されている。図8において、ステップ411（酸化ステップ）においてはウエハの表面を酸化させる。ステップ412（CVDステップ）においてはウエハ表面に絶縁膜を形成する。ステップ413（電極形成ステップ）においてはウエハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップ414（イオン打ち込みステップ）においてはウエハにイオンを打ち込む。以上のステップ411～ステップ414それぞれは、ウエハ処理の各段階の前処理工程を構成しており、各段階において必要な処理に応じて選択されて実行される。

ウエハプロセスの各段階において、上述の前処理工程が終了すると、以下のようにして後処理工程が実行される。この後処理工程では、まず、ステップ415（レジスト形成ステップ）において、ウエハに感光剤を塗布する。引き続き、ステップ416（露光ステップ）において、上で説明した露光装置及び露光方法によってマスクの回路パターンをウエハに転写する。次に、ステップ417（現像ステップ）においては露光されたウエハを現像し、ステップ418

(エッチングステップ)において、レジストが残存している部分以外の部分の露出部材をエッチングにより取り去る。そして、ステップ419(レジスト除去ステップ)において、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。

これらの前処理工程と後処理工程とを繰り返し行うことによって、ウエハ上に多重に回路パターンが形成される。

以上説明した本実施形態のデバイス製造方法を用いれば、露光工程(ステップ416)において上記各実施形態の露光装置及びその露光方法が用いられるので、投影光学系の透過率を最良に維持した状態で露光を行い、ウエハ上の転写パターンの劣化を防止することができる。また、被照射面における可干渉性を極力低減してウエハ上に転写されるパターン線幅の制御性(例えば、線幅均一性)を向上することができる。従って、重ね合せ精度の向上を含む露光精度の向上が可能となり、高集積度のデバイスを歩留まり良く生産することができる。

なお、本発明は上述の実施形態に限定されず、また、各実施形態のそれぞれを必要に応じて組み合わせた構成を採ることも可能である。

産業上の利用可能性

以上説明したように、本発明に係る光学素子の洗浄方法は、光学素子を短時間で十分に洗浄するのに適している。本発明に係る露光装置及び露光方法は、集積回路等のマイクロデバイスを製造するリソグラフィ工程において、微細パターンをウエハ等の基板上に精度良く形成するのに適している。また、本発明に係るデバイス製造方法は、微細なパターンを有するデバイスの製造に適している。

請 求 の 範 囲

1. 酸素を含む第1の気体が充填されたハウジング内に収納された光学素子の洗浄方法において、前記ハウジング内に、酸素により吸収される特性を有する波長の紫外光を所定時間照射することを特徴とする光学素子の洗浄方法。
2. 請求項1に記載の光学素子の洗浄方法において、
前記紫外光の照射に際して、前記ハウジング内の第1の気体を該第1の気体に比べて酸素をより多く含む第2の気体によって置換することを特徴とする光学素子の洗浄方法。
3. 請求項1に記載の光学素子の洗浄方法において、
前記紫外光の照射に際して、前記ハウジング内の第1の気体を酸素及びオゾンを含む第3の気体によって置換することを特徴とする光学素子の洗浄方法。
4. 請求項1～3のいずれか一項に記載の光学素子の洗浄方法において、
前記紫外光の波長はほぼ193.23nmであることを特徴とする光学素子の洗浄方法。
5. マスクのパターンを光学系を介して基板に転写する露光装置であって、
露光波長の第1の光と当該第1の光に比べて酸素による吸収が大きい波長の第2の光とを出射可能な光源ユニットと；
前記光源ユニットからの光をマスクに照射する照明用光学系と；
前記マスクから出射される光を前記基板に投射する投影光学系と；
前記マスクのパターンを前記基板に転写する露光時には、前記光源ユニット

から前記第 1 の光が前記照明用光学系を介して前記マスクに照射されるように設定するとともに、前記照明用光学系及び前記投影光学系の少なくとも一部を洗浄する洗浄時には、前記光源ユニットから前記第 2 の光が前記照明用光学系に入射されるように設定する制御装置とを備える露光装置。

6. 請求項 5 に記載の露光装置において、

前記制御装置は、前記洗浄時に、前記第 2 の光が出射される際には、その洗浄対象の光路部分に酸素及びオゾンの少なくとも一方を含む洗浄用気体を注入することを特徴とする露光装置。

7. 請求項 6 に記載の露光装置において、

前記洗浄用気体は、酸素を十分含む気体であることを特徴とする露光装置。

8. 請求項 6 に記載の露光装置において、

前記洗浄用気体は、酸素及びオゾンを含む気体であることを特徴とする露光装置。

9. 請求項 6 に記載の露光装置において、

前記制御装置は、前記露光時に、前記第 1 の光の出射に先立って、前記光学系内に屈折率が 1 に近い気体を注入することを特徴とする露光装置。

10. 請求項 5 に記載の露光装置において、

前記光源ユニットは、前記第 1 の光を出射する第 1 の光源と、前記第 2 の光を出射する第 2 の光源とを有し、

前記制御装置は、前記第 1 の光源からの第 1 の光と前記第 2 の光源からの第 2 の光とを択一的に前記照明用光学系に導くことを特徴とする露光装置。

1 1. 請求項 5 に記載の露光装置において、

前記光源ユニットは、単一の光源と、該光源からの出射光の波長を切り換える切り換え機構とを有し、

前記制御装置は、前記露光時と前記洗浄時とで前記切り換え機構を介して前記光源からの出射光の波長を切り換えることを特徴とする露光装置。

1 2. 請求項 1 1 に記載の露光装置において、

前記切り替え機構は、前記光源からの出射光の波長幅を狭帯域化する狭帯域化モジュールの一部を駆動する駆動機構であることを特徴とする露光装置。

1 3. 請求項 1 2 に記載の露光装置において、

前記狭帯域化モジュールは、前記光源からの出射光の波長幅を変更可能であり、

前記制御装置は、前記洗浄時に、前記駆動機構を介して、前記狭帯域化モジュールで狭帯域化される波長幅を酸素の吸収帯域を含む波長幅に変更することを特徴とする露光装置。

1 4. 請求項 5 に記載の露光装置において、

前記第 2 の光は、波長がほぼ 1 9 3 . 2 3 nm の A r F エキシマレーザ光であることを特徴とする露光装置。

1 5. 請求項 5 に記載の露光装置において、

前記光源ユニットから前記マスクに至る前記光の光路の一部に配置され、その出射光の強度を調整可能な調整装置を更に備え、

前記制御装置は、前記第 2 の光の強度が前記第 1 の光の強度より高くなるよ

うに前記調整装置を制御することを特徴とする露光装置。

16. マスクのパターンを光学系を介して基板に転写する露光装置であって、
少なくとも露光波長を含む所定波長幅の光を出射可能な光源ユニットと；
前記光源ユニットからの前記光を前記マスクに照射する照明用光学系と；
前記マスクから出射される光を前記基板に投射する投影光学系と；

前記光源ユニットから前記マスクの配置面に至る前記光の光路の一部に配置され、その出射光の強度を調整可能な調整装置と；

前記マスクのパターンを前記基板に転写する露光時に比べて前記照明用光学系及び前記投影光学系の少なくとも一部を洗浄する洗浄時に前記出射光の強度が高くなるように前記調整装置を制御する制御装置とを備える露光装置。

17. 請求項16に記載の露光装置において、

前記調整装置は、前記光路の一部に挿入・退避可能に設けられ、前記光路上を通る光束を分割するビームスプリッタを含み、前記分割された一方の光束を遅延光路に廻し、再び分割した光路に戻す光遅延素子を少なくとも1つ有し、

前記制御装置は、前記ビームスプリッタを、前記露光時には前記光路上に挿入し、前記洗浄時には前記光路上から退避させることを特徴とする露光装置。

18. マスクのパターンを光学系を介して基板に転写する露光方法であって、
前記光学系内部の少なくとも一部に酸素が十分に存在する状態で前記光学系に露光波長の光に比べて酸素による吸収の大きい波長の紫外光を所定時間照射する第1工程と；

前記光学系内部の少なくとも一部に存在する酸素を含む気体を屈折率が1に近いガスで置換する第2工程と；

前記マスクに前記露光波長の紫外光を照射して前記マスクのパターンを前記

光学系を介して基板に転写する第 3 工程とを含む露光方法。

19. 請求項 18 に記載の露光方法において、

前記第 1 工程で照射される紫外光の強度は、前記第 3 工程で照射される紫外光の強度に比べて高いことを特徴とする露光方法。

20. マスクのパターンを光学系を介して基板に転写する露光方法であって、
露光時の第 1 の光に比べて光の強度が高い第 2 の光を所定時間照射する第 1 工程と；

前記光学系内部の少なくとも一部に存在する酸素を含む気体を屈折率が 1 に近いガスで置換する第 2 工程と；

前記マスクに露光波長の前記第 1 の光を照射して前記マスクのパターンを前記光学系を介して基板に転写する第 3 工程とを含む露光方法。

21. リソグラフィ工程を含むデバイス製造方法であって、

前記リソグラフィ工程で、請求項 5 ～ 17 のいずれか一項に記載の露光装置を用いて露光を行うことを特徴とするデバイス製造方法。

22. リソグラフィ工程を含むデバイス製造方法であって、

前記リソグラフィ工程で、請求項 18 ～ 20 のいずれか一項に記載の露光方法を用いることを特徴とするデバイス製造方法。

23. 請求項 21 又は 22 に記載のデバイス製造方法によって製造されたことを特徴とするデバイス。

補正書の請求の範囲

[2000年5月16日(16.05.00)国際事務局受理:新しい請求の範囲24-31が加えられた;他の請求の範囲は変更なし。(3頁)]

19. 請求項18に記載の露光方法において、

前記第1工程で照射される紫外光の強度は、前記第3工程で照射される紫外光の強度に比べて高いことを特徴とする露光方法。

20. マスクのパターンを光学系を介して基板に転写する露光方法であって、露光時の第1の光に比べて光の強度が高い第2の光を所定時間照射する第1工程と;

前記光学系内部の少なくとも一部に存在する酸素を含む気体を屈折率が1に近いガスで置換する第2工程と;

前記マスクに露光波長の前記第1の光を照射して前記マスクのパターンを前記光学系を介して基板に転写する第3工程とを含む露光方法。

21. リソグラフィ工程を含むデバイス製造方法であって、

前記リソグラフィ工程で、請求項5～17のいずれか一項に記載の露光装置を用いて露光を行うことを特徴とするデバイス製造方法。

22. リソグラフィ工程を含むデバイス製造方法であって、

前記リソグラフィ工程で、請求項18～20のいずれか一項に記載の露光方法を用いることを特徴とするデバイス製造方法。

23. 請求項21又は22に記載のデバイス製造方法によって製造されたことを特徴とするデバイス。

24. (追加) 光源から射出された露光波長の第1の光を、パターンが形成さ

れたマスクを介して基板に照射する露光装置に備えられ、かつ前記光源と前記基板との間に配置される少なくとも一つの光学素子の洗浄方法において、

前記第1の光に対して、光の強度、光の波長及び光の波長幅の少なくとも一つを変更した第2の光を、前記光学素子に所定時間照射することを特徴とする光学素子の洗浄方法。

25. (追加) 請求項24に記載の洗浄方法において、

前記第2の光は、前記第1の光に比べて、酸素による吸収が大きい波長の光であることを特徴とする光学素子の洗浄方法。

26. (追加) 光源から射出された露光波長の第1の光を、パターンが形成されたマスクを介して基板に照射する露光装置であって、

前記光源と前記基板との間に配置された少なくとも一つの光学素子を洗浄する洗浄時に、前記第1の光に対して、光の強度、光の波長及び光の波長幅の少なくとも一つを変更した第2の光を前記光学素子に入射するように設定する制御装置を備える露光装置。

27. (追加) 請求項26に記載の露光装置において、

前記第2の光は、前記第1の光に比べて、酸素による吸収が大きい波長の光であり、

前記制御装置は、前記光源と、前記第2の光を射出する光源とを択一的に前記光学素子に導くことを特徴とする露光装置。

28. (追加) 光源から射出される露光波長の第1の光のもとで、マスクのパターンを光学系を介して基板に転写する露光方法であって、

前記第1の光に対して、光の強度、光の波長及び光の波長幅の少なくとも一

つを変更した第2の光を、前記光源と前記基板との間に配置される少なくとも一つの光学素子に所定時間照射する第1工程と；

しかる後、前記マスクに前記第1の光を照射して、前記マスクのパターンを前記光学系を介して基板に転写する第2工程とを含む露光方法。

29. (追加) 露光波長の第1の光を射出する光源ユニットであって、
射出される第1の光を、該第1の光に比べて酸素による吸収が大きい波長の第2の光に切り換える切換え機構を備える光源ユニット。

30. (追加) 請求項29に記載の光源ユニットにおいて、
該光源ユニットは、マスクのパターンを基板に転写する露光装置に取り付けられ、

前記第1の光は、前記マスクのパターンを基板に転写する時に射出され、
前記第2の光は、前記光源ユニットと前記基板との間に配置される少なくとも一つの光学素子を洗浄する時に射出されることを特徴とする光源ユニット。

31. (追加) 請求項30に記載の光源ユニットであって、
前記切換え機構は、前記露光装置の動作を制御する制御装置によって制御されることを特徴とする光源ユニット。

Fig. 1

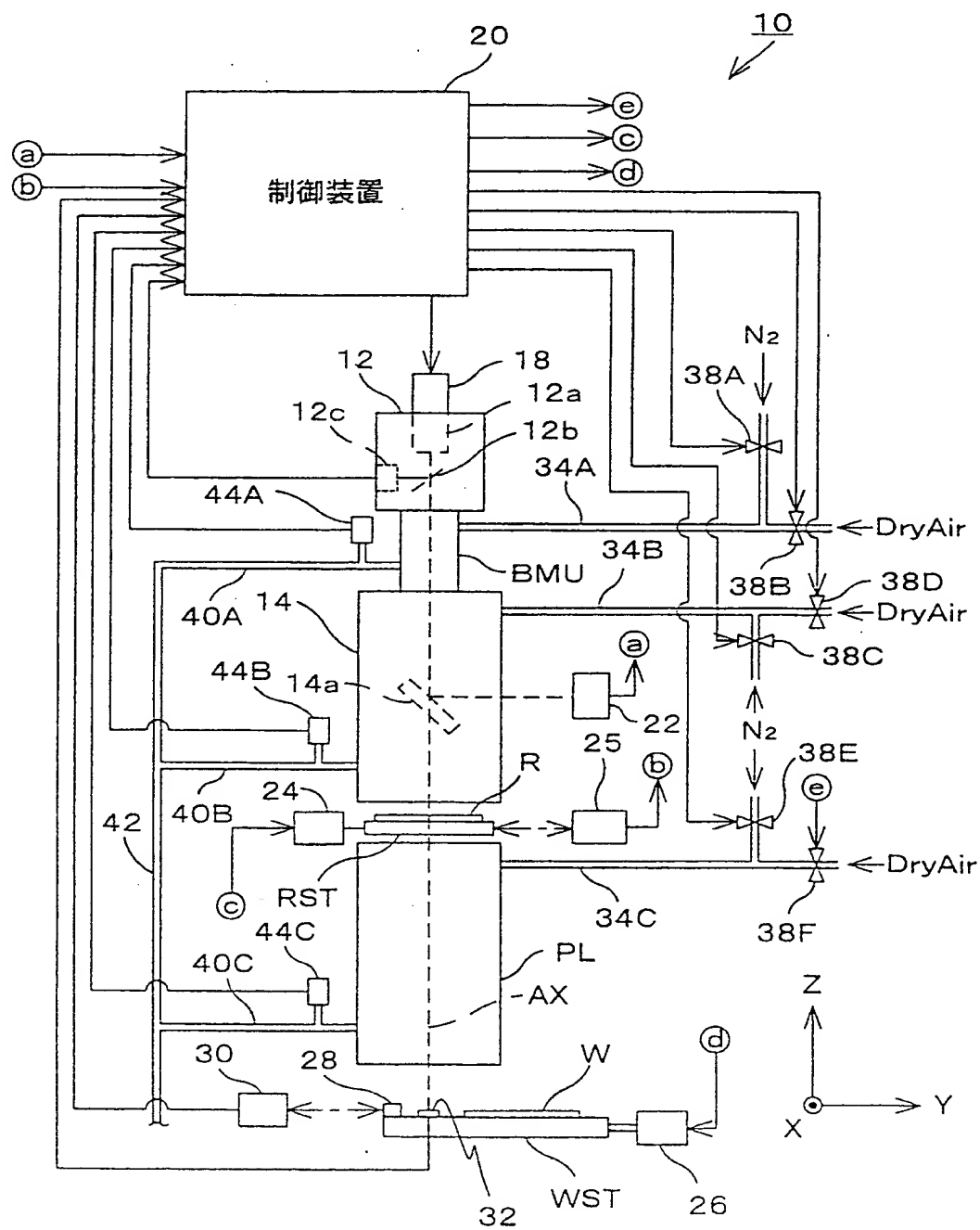


Fig. 2

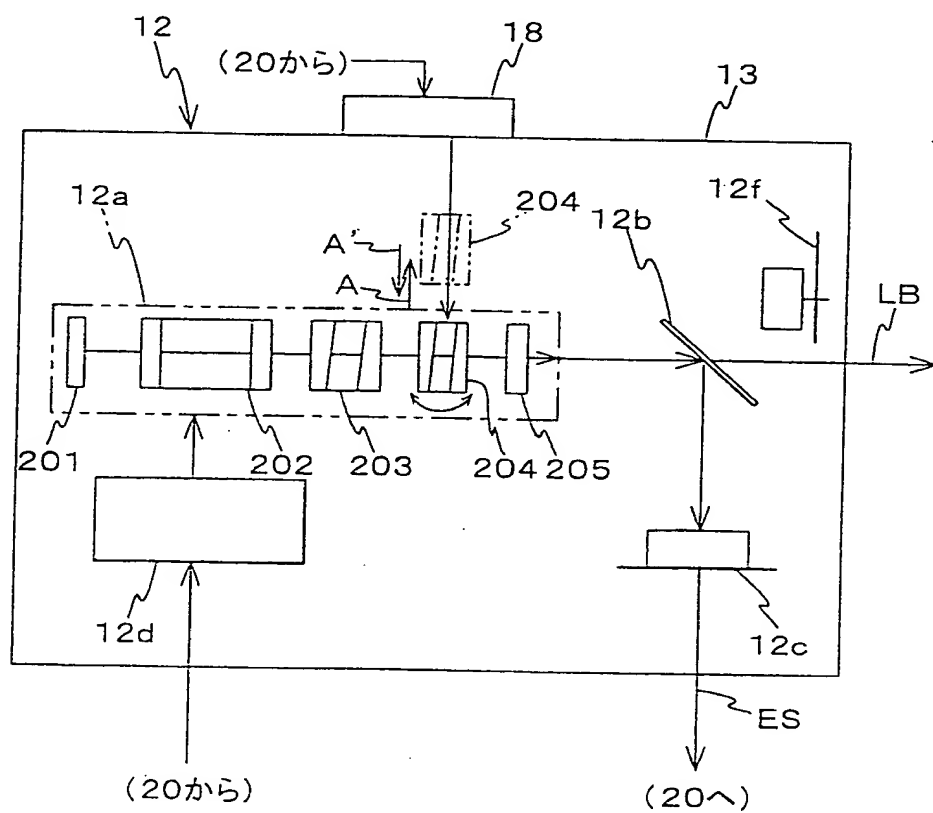


Fig. 3

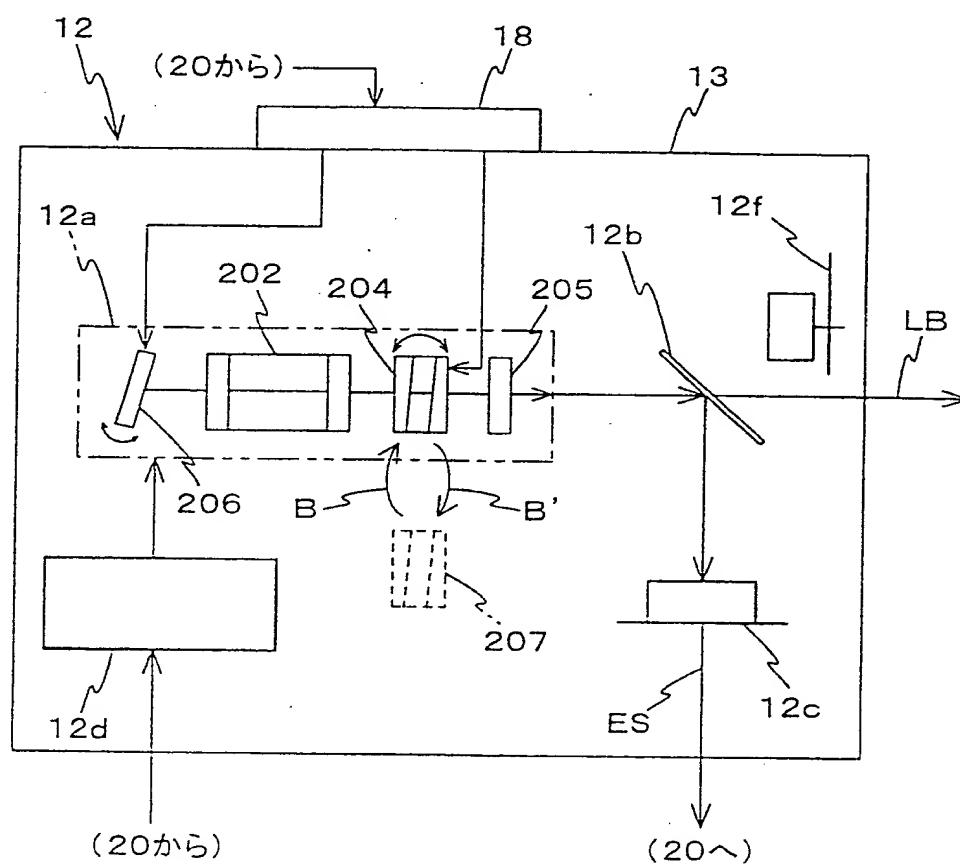


Fig. 4

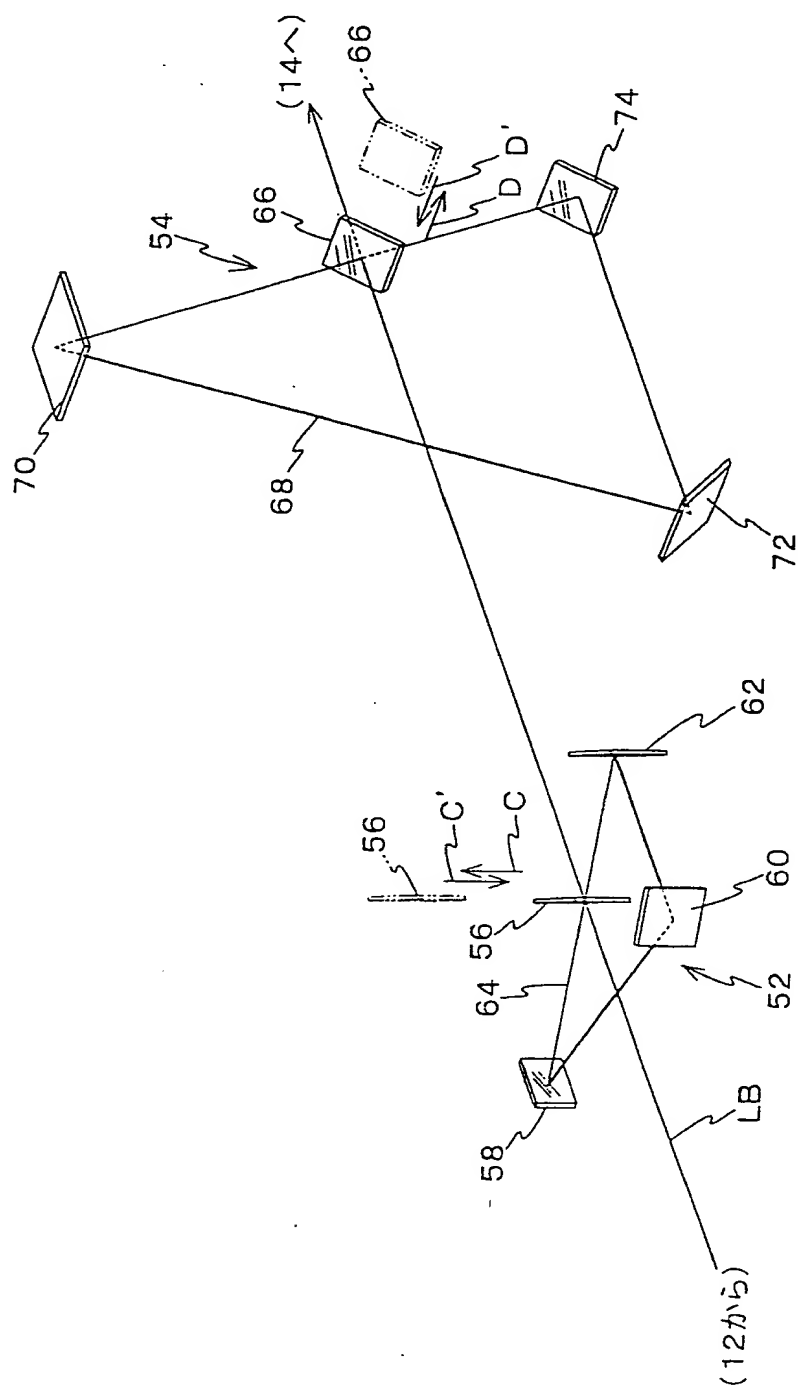
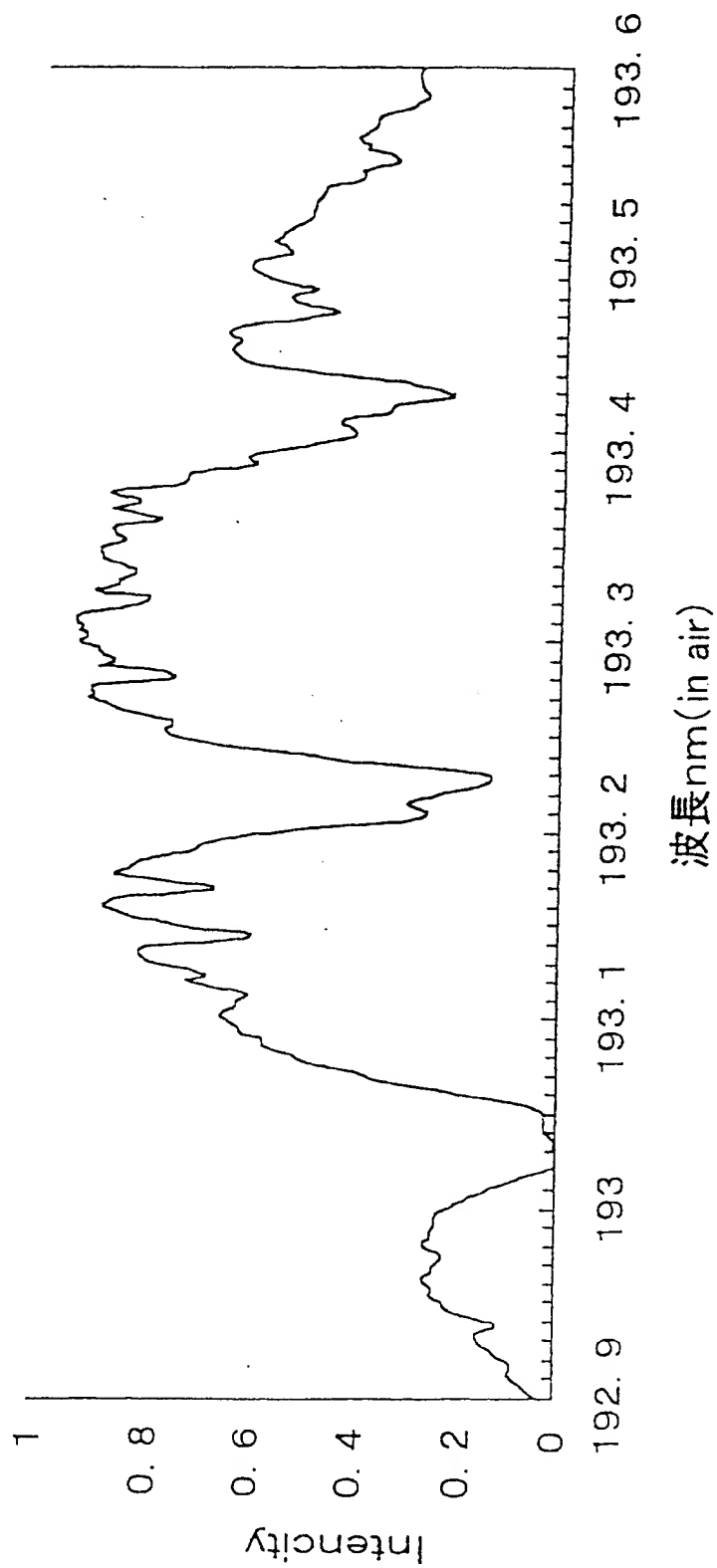


Fig. 5



F i g . 6

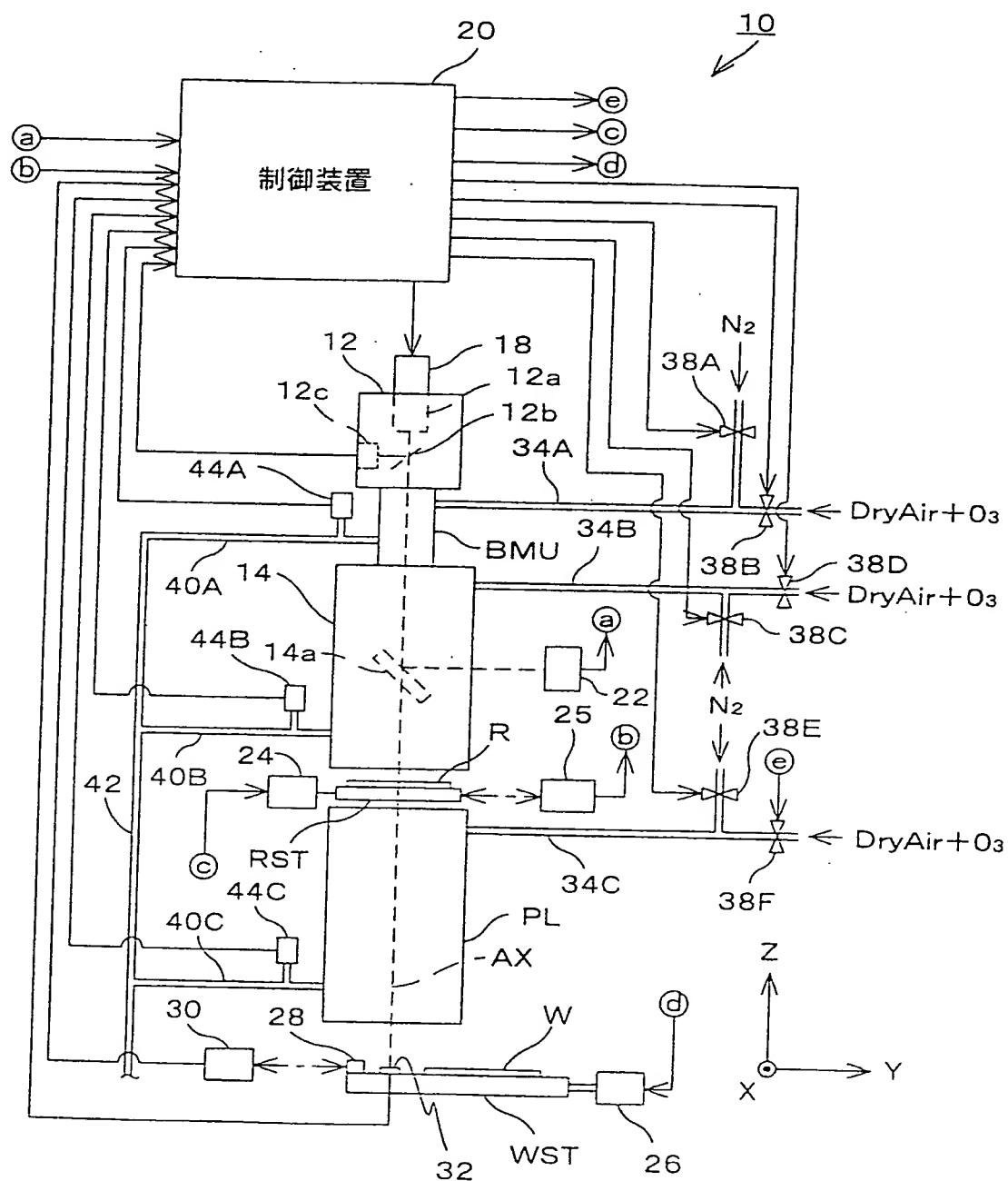


Fig. 7

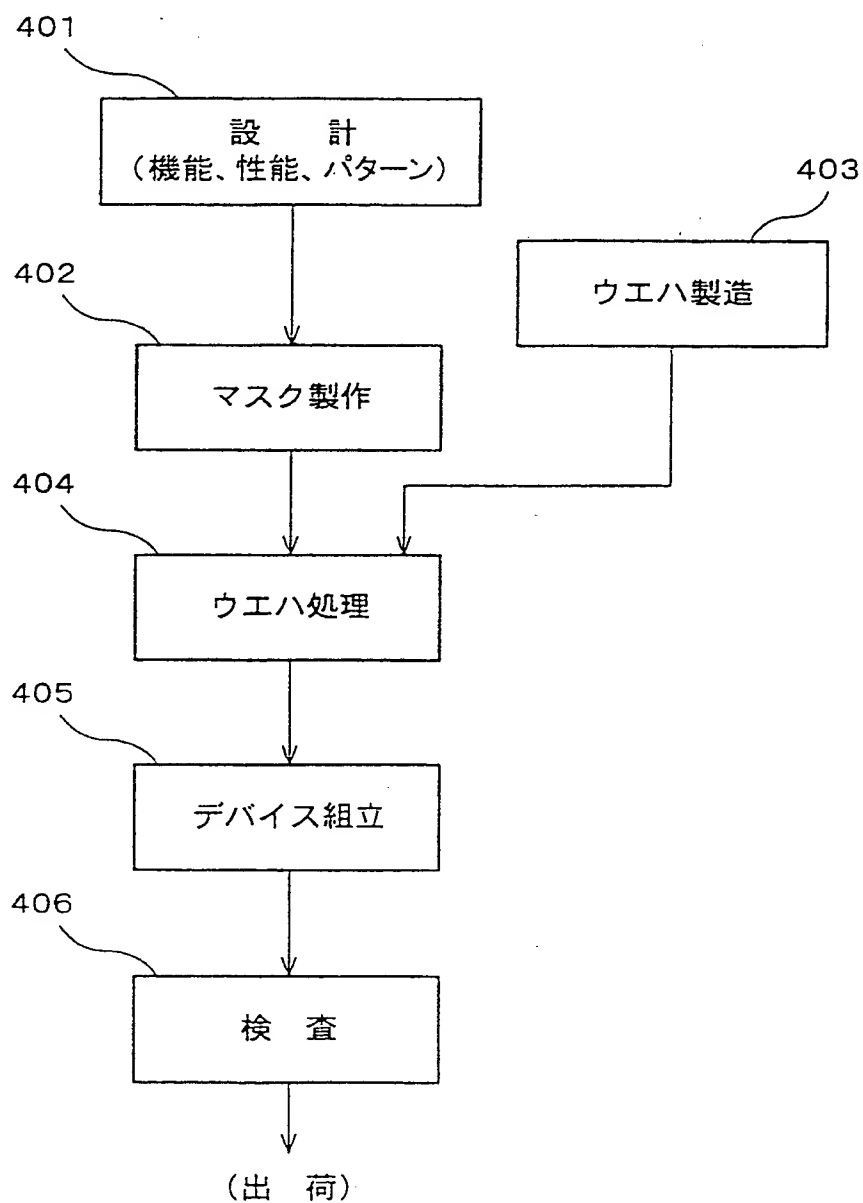
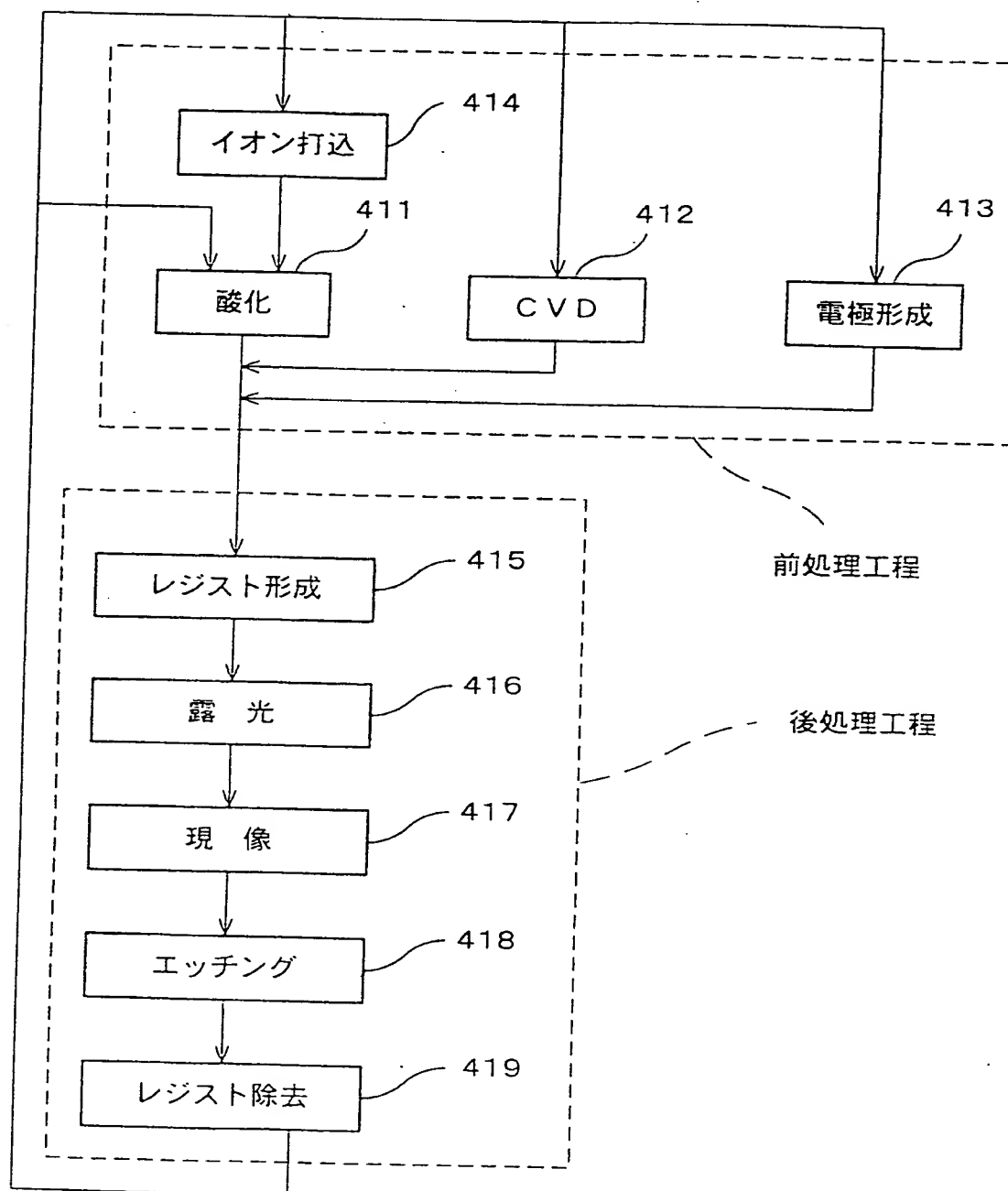


Fig. 8



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP99/07321

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ H01L21/027, B08B7/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl⁷ H01L21/027, B08B7/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1926-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2000
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2000 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2000

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP, 10-303097, A (Nikon Corporation), 13 November, 1998 (13.11.98) (Family: none)	1-23
X	JP, 10-197701, A (Nikon Corporation), 31 July, 1998 (31.07.98) (Family: none)	1-23
X	EP, 660188, A (ASM LITHOGRAPHY B.V.), 28 June, 1995 (28.06.95) & JP, 7-209569, A	1-23

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier document but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
07 March, 2000 (07.03.00)

Date of mailing of the international search report
21 March, 2000 (21.03.00)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

国際調査報告

国際出願番号 PCT/J P 99/07321

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl¹ H01L21/027, B08B7/00

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl¹ H01L21/027, B08B7/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2000年
 日本国登録実用新案公報 1994-2000年
 日本国実用新案登録公報 1996-2000年

国際調査で使用了電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP, 10-303097, A (株式会社ニコン) 13. 11月. 1998 (13. 11. 98) (ファミリーなし)	1-23
X	JP, 10-197701, A (株式会社ニコン) 31. 7月. 1998 (31. 07. 98) (ファミリーなし)	1-23
X	EP, 660188, A (ASM LITHOGRAPHY B. V.) 28. 6月. 1995 (28. 06. 95) & JP, 7-209569, A (株式会社)	1-23

☐ C欄の続きにも文献が列举されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

07. 03. 00

国際調査報告の発送日

21.03.00

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号 100-8915

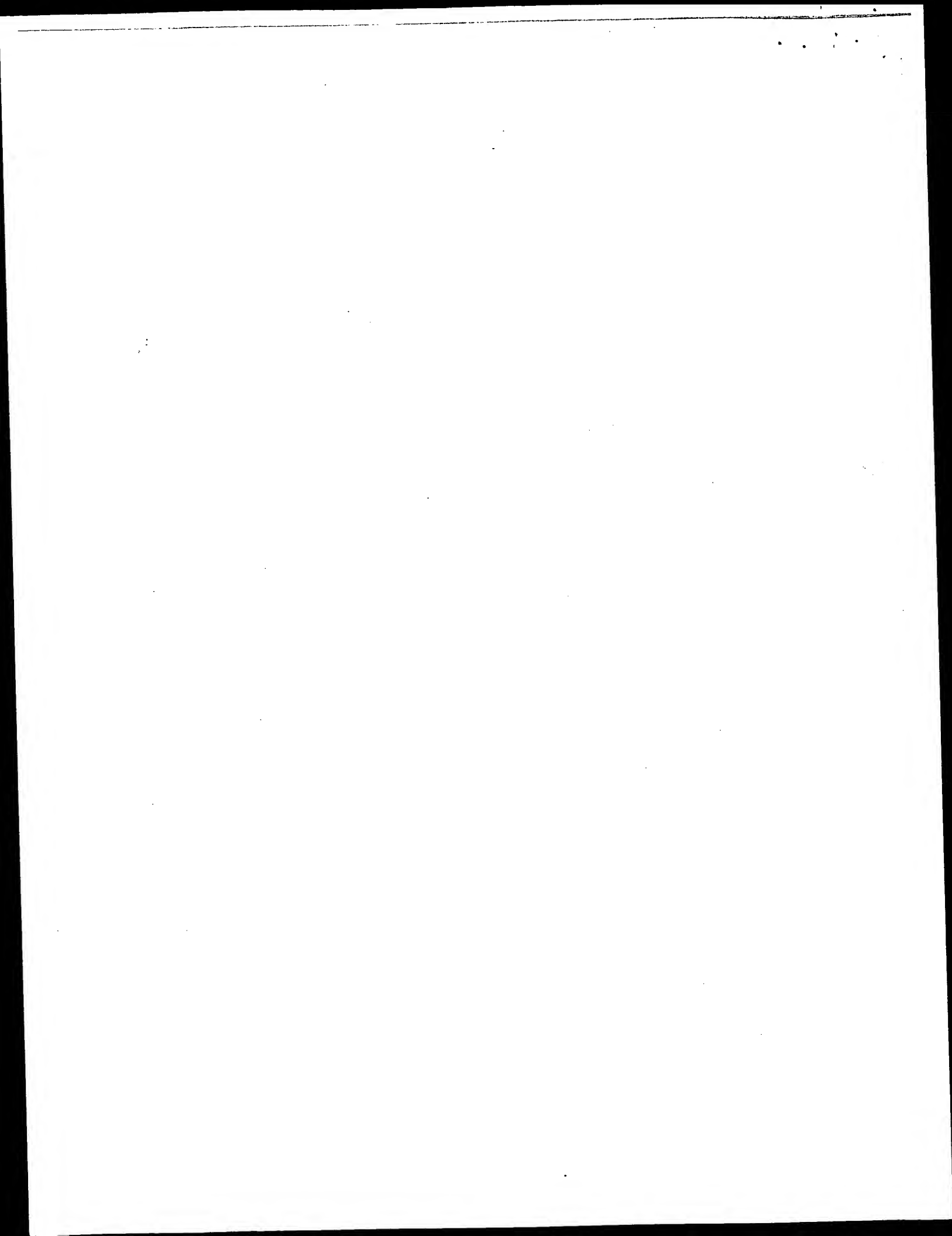
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

芝 哲央

2M 7810

電話番号 03-3581-1101 内線 6221



CLEANING METHOD OF OPTICAL ELEMENT, EXPOSURE METHOD
AND APPARATUS, LIGHT SOURCE UNIT, AND DEVICE AND
DEVICE MANUFACTURING METHOD

5 *CROSS-REFERENCE TO RELATED APPLICATIONS*

This is a continuation of International Application
PCT/JP99/07321, with an international filing date of December
27, 1999, the entire content of which is hereby incorporated
by reference.

10

BACKGROUND OF THE INVENTION

1. FIELD OF THE INVENTION

The present invention relates to a cleaning method of
optical element, exposure method and apparatus, light source
15 unit, and device and device manufacturing method. More
particularly, the present invention relates to a cleaning
method suitable for cleaning optical elements irradiated by
ultraviolet light with a wavelength not exceeding 200nm, an
exposure method and apparatus using the ultraviolet light as
20 an illumination light for exposure, a light source unit
suitable for the light source of the exposure apparatus, and
a device and device manufacturing method by using the exposure
method and apparatus.

25 2. DESCRIPTION OF THE RELATED ART

Conventionally, in the lithographic process to
manufacture devices such as semiconductors and liquid crystal
displays, various types of exposure apparatus have been used

to transfer a circuit pattern formed on a mask or reticle (to be generally referred to as a "reticle" hereinafter) onto a substrate such as a wafer or a glass plate. In recent years, however, a reduction projection exposure apparatus based on a step-and-repeat method (often referred to simply as a stepper) which transfers the pattern onto a substrate through a projection optical system and a scanning type projection exposure apparatus based on a step-and-scan method (often referred to as a scanning stepper) have become the mainstream.

10 With these exposure apparatus, as the required resolution becomes higher, the wavelength of the exposure light becomes shorter, and an exposure apparatus that uses ArF excimer laser light as illumination light, which wavelength is approximately 193nm, is currently being developed.

With vacuum ultraviolet (VUV) light which has a wavelength not exceeding 200nm, when there is air (oxygen) along the optical path most of the energy is absorbed, thus the energy required for exposure does not reach the substrate surface. So, in the current ArF excimer laser exposure apparatus, to effectively transfer(expose) the mask pattern onto the substrate, the gas within the optical system along most of the optical path is replaced with a gas which index of refraction is close to 1, such as nitrogen (N_2) gas. Also, excimer laser light narrow-banded to a wavelength which absorption of oxygen is low, is used as the illumination light for exposure to effectively transfer the pattern onto the substrate.

In a projection exposure apparatus, in order to transfer accurately the pattern of the reticle onto the substrate, optical elements such as mirrors and lenses are used. These optical elements are housed in housings and barrels (housing
5 of a projection optical system), and outgas from these housings and impurity within the environment interior of the optical system cause water and organic contaminants to adhere by a small amount to the optical elements, which cannot be avoided. The contaminants have a high absorbency to ArF laser excimer
10 light, so with an ArF laser excimer exposure apparatus the transmittance of the optical system decreases because of the contaminants adhered on the surface of the optical elements and thus the image quality of the optical system deteriorates. This resulted in a deterioration of the pattern transferred
15 onto the substrate and in the yield decrease of microdevices such as integrated circuits at times.

It is acknowledged that by irradiating ultraviolet light having a wavelength that does not exceed 200nm like an ArF excimer laser beam onto an optical element with contaminants
20 adhered on the surface, the energy of the ultraviolet light breaks down the organic contaminant structure and cleans the optical element. In the current excimer laser exposure apparatus, prior to the actual exposure, the exposure light is usually irradiated onto the optical elements so as to
25 perform self-cleaning and remove the contaminants from the surface of the optical elements.

With the cleaning method described above, of breaking the contaminant structure by the energy of the ultraviolet

light, however, the cleaning efficiency was not sufficient, and to improve the sufficiency the optical element had to be irradiated by the exposure light for many hours. This caused an unnecessary decrease in operation efficiency, and even
5. damaged the glass material. The decrease in operation efficiency, as a matter of course is a factor leading to a cost-up in manufacturing microdevices like integrated circuits.

10

SUMMARY OF THE INVENTION

The present invention has been made in consideration of the situation above, and has as its first object to provide a cleaning method that sufficiently cleans the optical elements within a short period of time.

15

It is the second object of the present invention to provide an exposure method and apparatus that can improve the yield and productivity of microdevices.

20

It is the third object of the present invention to provide a light source unit suitable for the light source of the exposure apparatus.

It is the fourth object of the present invention to provide a microdevice on which a fine pattern is formed with high precision, and the device manufacturing method for improving the productivity of such a device.

25

According to the first aspect of the present invention, there is provided a first cleaning method of an optical element housed in a housing filled with a first gas containing oxygen, wherein the housing is irradiated with ultraviolet light for

a predetermined period of time, the ultraviolet light having a wavelength which is absorbed by oxygen.

With this method, ultraviolet light having a wavelength, which is absorbed by oxygen, is irradiated on the interior of the housing for a predetermined period of time. The oxygen contained in the first gas (gas containing oxygen) within the housing absorbs the energy of the ultraviolet light, generating ozone by the photochemical reaction, and the oxidation of ozone rinses the optical elements so that the contaminants on the surface of the optical elements are removed. Thus the optical elements are effectively cleaned. By this cleaning, it becomes possible to clean the optical elements in a shorter period of time compared with the conventional method, thus the time of illuminating the ultraviolet light can be reduced, resulting in reducing the damage to the glass material.

In this case, the ultraviolet light can be directly irradiated on the optical elements within the housing, but it can also be irradiated on the gas interior of the housing. With the former case, the structure of the organic contaminants can be broken down by the energy of the ultraviolet light, creating a cleaning effect on the optical elements, thus, a more effective cleaning can be expected. With the latter case, the damage to the glass material can be further reduced.

According to the first cleaning method of an optical element in the present invention, on irradiating the ultraviolet light, the first gas within the housing can be replaced with a second gas which has a higher concentration

of oxygen compared to the first gas. In such a case, the ultraviolet light is irradiated in a state where there is a sufficient amount of oxygen within the housing, and the amount of ozone generated by the photochemical reaction increases
5. which in turn, improves the effectiveness of cleaning the optical elements by the oxidation of ozone.

Also, in the first cleaning method of an optical element in the present invention, the first gas within the housing can be replaced with a third gas, which contains oxygen and
10 ozone, upon irradiating ultraviolet light. In such a case, the ultraviolet light is irradiated on the interior of the housing in a state where oxygen and ozone are in the housing. And by the oxidation of ozone generated by photochemical reaction and of ozone originally in the housing, the optical
15 elements can be cleaned more effectively than before.

With the first cleaning method of an optical element in the present invention, the ultraviolet light can have a wavelength of approximately 193.23nm. With such a wavelength, the amount of energy of the ultraviolet light absorbed by
20 oxygen is greater than that of the adjacent wavelengths, therefore, the probability of ozone being generated by photochemical reaction is reasonably high.

According to the second aspect of the present invention, there is provided a second cleaning method of at least one
25 optical element which is arranged between a light source and a substrate in an exposure apparatus, the exposure apparatus irradiating first light which has an exposure wavelength onto the substrate via a mask on which a pattern is formed, the

first light being emitted from the light source, wherein second light is irradiated onto the optical element for a predetermined period of time, the second light being changed from the first light with respect to at least one of intensity, wavelength, and width of wavelength.

In this case, the second light can be light having a wavelength which absorption by oxygen is greater than that of the first light.

According to the third aspect of the present invention, there is provided a first exposure apparatus which transfers a mask pattern onto a substrate through an optical system, the exposure apparatus comprising: a light source unit capable of emitting first light and second light, the first light having an exposure wavelength and the second light having a wavelength which absorption by oxygen is greater than that of the first light; an optical system for illumination which irradiates light emitted from the light source unit onto the mask; a projection optical system which projects light exiting from the mask onto the substrate; a controller which sets the first light from the light source unit to be irradiated onto the mask via the optical system for illumination upon exposure of transferring the mask pattern onto the substrate, and upon cleaning at least a part of the optical system for illumination and the projection optical system sets the second light from the light source unit to be incident on the optical system for illumination.

The term "optical system for illumination", is used here meaning an illumination optical system in a broad sense, and

is a concept which includes a light transmitting system such as a beam matching unit.

With this exposure apparatus, upon cleaning at least a part of the optical system for illumination and projection optical system, the controller sets the second light from the light source unit to be incident on the optical system for illumination. Then, the second light from the light source unit is irradiated on the optical system for illumination and projection optical system via the optical system for illumination, generating ozone by photochemical reaction within the optical system for illumination and projection optical system. And the oxidation of the ozone generated effectively cleans the optical system for illumination and projection optical system, or at least a part of them (the optical elements). Accordingly, it becomes possible to clean the optical system within a shorter period of time compared with conventional methods, reducing the irradiating time itself of the second light for cleaning, which reduces the damage of glass material and can maintain a favorable image forming characteristics.

When the cleaning is completed, and upon exposure of transferring the mask pattern onto the substrate, the controller sets the first light, which has the exposure wavelength and is emitted from the light source unit, to be irradiated onto the mask via the optical system for illumination. The first light from the light source is irradiated onto the mask, and the mask pattern is transferred onto the substrate through the projection optical system.

Consequently, exposure is performed via an optical system which image forming characteristics are maintained favorably by using light which exposure wavelength absorbs only a small amount of oxygen, therefore the mask pattern can be precisely transferred onto the substrate. This improves the yield and productivity when producing microdevices.

In this case, upon the cleaning, when the second light is emitted, the controller can purge a gas for cleaning which contains at least one of oxygen and ozone along an optical path where an element subject to cleaning is arranged. When the gas for cleaning, which contains oxygen, is purged, the second light is emitted in a state where the gas, which contains oxygen, is purged along the optical path where the element subject to cleaning is arranged. The oxygen in the gas for cleaning generates ozone by photochemical reaction, and the oxidation of the ozone generated effectively cleans the optical system for illumination and projection optical system or at least a part of them (the optical elements) within a short time. Also, when a cleaning gas, which contains ozone, is purged, the second light is emitted in a state where the gas which contains ozone, is purged along the optical path where the element subject to cleaning is arranged. Thus, the oxidation of the ozone generated effectively cleans the optical system for illumination and projection optical system or at least a part of them (the optical elements) within a short time.

With the first exposure apparatus according to the present invention, the gas for cleaning can be a gas, which

sufficiently contains oxygen, or it can be a gas, which contains both oxygen and ozone. In the former case, the second light is emitted in a state where the gas, which contains a sufficient amount of oxygen, is purged along the optical path where the element subject to cleaning is arranged. By the photochemical reaction of the oxygen contained in the gas, more ozone is generated resulting in a shorter cleaning time of the optical system for illumination and projection optical system or at least a part of them (the optical elements) due to the oxidation of ozone. In the latter case, the second light is emitted in a state where the gas, which contains oxygen and ozone, is purged along the optical path where the element subject to cleaning is arranged. By the photochemical reaction of the oxygen contained in the gas, ozone is generated. And along with the ozone contained in the gas, the cleaning time of the optical system for illumination and projection optical system or at least a part of them (the optical elements) can be further reduced due to the oxidation of ozone.

In the first exposure apparatus according to the present invention, upon exposure, prior to emitting the first light, the controller can purge a gas which index of refraction is close to 1 into the optical system, such as a nitrogen gas (N_2). In such a case, as the first light, vacuum ultraviolet (VUV) light having a wavelength not exceeding 200nm can be used, since the energy of the ultraviolet light is not absorbed by oxygen and the light intensity on the substrate surface is sufficient. The image forming characteristics of the optical system is also maintained in a preferable state on

exposure, which results in an accurate transfer of the mask pattern, thus improving the yield and productivity when producing microdevices.

With the first exposure apparatus according to the present invention, the light source unit can be made of various structures. For example, the light source unit can have a first light source which emits the first light and a second light source which emits the second light; and in this case the controller can selectively choose one of the first light from the first light source and the second light from the second light source to guide to the optical system for illumination.

Alternatively, the light source unit can be a single light source and have a switching mechanism which changes a wavelength of light emitted from the light source; and in this case, the controller can switch the wavelength of light emitted from the light source via the switching mechanism on exposure and on cleaning.

The switching mechanism, in this case, can be structured of a driving mechanism, which drives a portion of a narrow-banding module; the narrow-banding module narrowing a width of the wavelength of light emitted from the light source.

Also, the narrow-banding module can be made so it can change the width of the wavelength of light emitted from the light source; and in this case, the controller can change the width of the wavelength of light which is narrowed by the narrow-banding module to a width which include an absorption range by oxygen via the driving mechanism on cleaning.

With the first exposure apparatus according to the present invention, the second light can be an ArF excimer laser beam which has a wavelength of approximately 193.23nm. The amount of energy of the laser beam absorbed by oxygen in this wavelength is greater than that of the adjacent wavelengths, therefore, the probability of ozone being generated by photochemical reaction is reasonably high, resulting in further reducing the time required for cleaning the optical elements.

10 In the first exposure apparatus according to the present invention, the exposure apparatus can further comprise an adjustment unit which can adjust an intensity of light emitted from the light source unit and is arranged along a part of an optical path, the optical path from the light source unit to the mask; and the controller can control the adjustment unit so as to make an intensity of the second light stronger compared to an intensity of the first light.

In such a case, the intensity of the second light (peak power) which is irradiated on the optical system upon cleaning becomes stronger than the intensity of the first light upon exposure, therefore, the cleaning of the optical elements can be performed efficiently, further reducing the time required for cleaning.

25 According to the fourth aspect of the present invention, there is provided a second exposure apparatus which transfers a mask pattern onto a substrate through an optical system, the exposure apparatus comprising: a light source unit which can emit at least light of a predetermined wavelength width,

including an exposure wavelength; an optical system for illumination which irradiates the light from the light source unit onto the mask; a projection optical system which projects light exiting from the mask onto the substrate; an adjustment
5 unit which can adjust an intensity of light emitted from the light source unit, and is arranged along a part of an optical path, the optical path from the light source unit to the mask; and a controller which controls the adjustment unit so as to make the intensity of the light emitted from the light source
10 unit stronger upon cleaning at least a part of the optical system for illumination and the projection optical system, compared with when the mask pattern is transferred onto the substrate by exposure.

The term "optical system for illumination", is used here
15 meaning an illumination optical system in a broad sense, and is a concept which includes a light transmitting system such as a beam matching unit.

With this exposure apparatus, upon cleaning at least a part of the optical system for illumination and projection
20 optical system, the controller controls the adjustment unit which is arranged along a part of the optical path of the light emitted from the light source unit to the mask arrangement surface (surface where the mask is arranged) so as to make the intensity of the light emitted from the light source
25 stronger compared with when exposure is performed. The light emitted from the light source unit in which the intensity is increased (the wavelength can be the same as of the exposure wavelength), is irradiated on the optical system for

illumination and on the projection optical system via the optical system for illumination. This generates ozone by the photochemical reaction of oxygen in the interior of the optical system for illumination and the projection optical system.

5. And due to the oxidation of ozone, the optical system for illumination and projection optical system or at least a part of them (the optical elements) can be effectively cleaned. In this case, since the light intensity of the light emitted on cleaning is stronger than that of exposure, the amount of ozone generated is increased, proving the cleaning to be more effective. Accordingly, the optical elements can be sufficiently cleaned within a shorter period of time compared to conventional methods, reducing the irradiating time itself of the light for cleaning, which reduces the damage of glass material and can maintain a favorable image forming characteristics.

When the cleaning is completed, and upon exposure of transferring the mask pattern onto the substrate, the controller controls the adjustment unit so as to set the light intensity at a predetermined level which is weaker than that of the light on cleaning. The light from the light source, which has the exposure wavelength, is then irradiated onto the mask, and the mask pattern is transferred onto the substrate through the projection optical system. On exposure, the generation of ozone by photochemical reaction can be suppressed at a low level, therefore, the absorption of the exposure light by ozone is low, and thus exposure can be performed with the exposure light having a sufficiently high

transmittance. As a consequence, the mask pattern can be transferred onto the substrate with high precision, improving both the yield and productivity on manufacturing microdevices.

5 With the second exposure apparatus, the adjustment unit can be made of various structures. For example, the adjustment unit can be arranged so that it can be inserted and withdrawn from a part of the optical path, and the adjustment unit can include a beam splitter which splits a
10 light beam passing through the optical path and can have at least one optical delay element to guide one of a split beam through a delay optical path and back to the optical path; and the controller can insert the beam splitter into the optical path upon exposure and withdraw the beam splitter from
15 the optical path upon cleaning. In such a case, when optical cleaning is performed, the controller withdraws the beam splitter from the optical path (the optical path of the light emitted from the light source unit to the mask arrangement surface), so the light from the light source unit is guided
20 directly to the cleaning portion. Therefore, the light intensity is sufficient enough for cleaning, whereas on exposure, the controller inserts the beam splitter into the optical path. The light beam from the light source, is thus split by the beam splitter which structures the optical delay
25 element, and between the split beams an optical path length difference (optical path difference) is created which has the length of the delay optical path. The optical path length of the delay optical path, is in general, set so as to exceed

the coherence length of the light source, therefore, reduces speckles and coherency caused on the irradiating surface (mask surface and substrate surface). Accordingly, the illumination uniformity of the image plane (substrate surface) is improved to a sufficient level thus improving the line width uniformity, making an exposure with high precision possible.

According to the fifth aspect of the present invention, there is provided a third exposure apparatus which irradiates first light having an exposure wavelength onto a substrate via a mask on which a pattern is formed, the first light being emitted from a light source, the exposure apparatus comprising a controller which sets second light to be incident on an optical element upon cleaning of at least one optical element which is arranged between a light source and a substrate in the exposure apparatus, the second light being changed from the first light with respect to at least one of intensity, wavelength, and width of wavelength.

In this case, the second light can be light having a wavelength which absorption by oxygen is greater than that of the first light, and the controller can selectively choose one of the light source and a light source which emits the second light to guide to the optical element.

According to the sixth aspect of the present invention, there is provided a first exposure method which transfers a mask pattern onto a substrate through an optical system, and the exposure method comprises; irradiating ultraviolet light that has a wavelength which absorption by oxygen is greater

than that of an exposure wavelength on the optical system, the optical system having a sufficient amount of oxygen in at least a part of its interior; replacing a gas of the optical system in at least a part of its interior which contains oxygen
5 to a gas which has an index of refraction close to 1; and transferring a mask pattern onto a substrate through an optical system by irradiating ultraviolet light which has the exposure wavelength.

According to this method, first of all, ultraviolet
10 light having a wavelength which absorption by oxygen is greater than that of an exposure wavelength, is irradiated on the optical system for a predetermined period of time in a state where there is a sufficient amount of oxygen in at least a part of its interior. This generates ozone by the
15 photochemical reaction of oxygen in at least a part of its interior, and due to the oxidation of ozone the optical system (optical elements within the optical system) are effectively cleaned. Next, the gas of the optical system in at least a part of its interior, which contains oxygen, is replaced to
20 a gas which has an index of refraction close to 1. And when the gas is replaced, finally, the mask pattern is transferred onto the substrate through the optical system by irradiating ultraviolet light, which has an exposure wavelength. Thus, according to the present invention, when cleaning of the
25 optical system is necessary, the wavelength of the exposure light is changed to a wavelength which absorption by oxygen is large. The optical elements within the optical system are, then, cleaned in a state where there is a sufficient amount

of oxygen in the optical path. After the optical cleaning is completed, the wavelength of the exposure light and the concentration of oxygen are resumed to the original state, and transfer of the mask pattern (exposure) is performed. By these procedures, deterioration of the pattern image transferred onto the substrate can be prevented, resulting in an improvement in yield when producing microdevices such as integrated circuits, and can consequently reduce the manufacturing cost.

10 The initial process can be performed in a state where there is a sufficient amount of oxygen along the overall optical path within the optical system. Alternatively, the process can be performed at an area along the optical path where cleaning is necessary in the case there is enough oxygen, 15 for example, near the substrate where it is farthest from the light source and difficult to perform cleaning. It is also effective to perform the process, in other words, cleaning: just after the making of the exposure apparatus; after a long shutdown of operations; when changing exposure or 20 illumination conditions; and when deterioration of image forming characteristics due to the contaminants on the surface of the optical elements is predictable.

In the first exposure method according to the present invention, the intensity of the ultraviolet light that has 25 the wavelength which absorption by oxygen is greater than that of the exposure wavelength, can be stronger than that of the ultraviolet light that transfers said mask pattern onto the substrate. In such a case, stronger ultraviolet light

increases the effectiveness of optical cleaning.

According to the seventh aspect of the present invention, there is provided a second exposure method which transfers a mask pattern onto a substrate through an optical system, and the exposure method comprises: irradiating second light for a predetermined period of time, the second light having stronger intensity compared to that of first light emitted on exposure; replacing a gas of the optical system in at least a part of its interior which contains oxygen to a gas which has an index of refraction close to 1; transferring a mask pattern onto a substrate through an optical system by irradiating the first light which has an exposure wavelength.

With this method, first of all, the second light (the wavelength can be the either the same or different from the exposure wavelength) which intensity is stronger than that of first light emitted on exposure (exposure light) is irradiated on the optical system for a predetermined period of time. Ozone is generated in the optical system by the photochemical reaction of oxygen, and due to the oxidation of ozone the optical system (optical elements) is effectively cleaned. In this case, since the light intensity of the light for cleaning is stronger than that of exposure, the amount of ozone generated increases, thus causing a greater cleaning effect. Accordingly, it becomes possible to clean the optical system within a shorter period of time compared with conventional methods, reducing the irradiating time itself of the second light for cleaning, which reduces the damage of glass material and can maintain a favorable image forming

characteristics. Next, the gas of the optical system in at least a part of its interior, which contains oxygen, is replaced to a gas which has an index of refraction close to 1. And when the replacement is completed, finally, the first
5 light that has the predetermined light intensity which is weaker than that of cleaning and the exposure wavelength, is irradiated onto the mask, and the mask pattern is transferred onto the substrate via the optical system. Thus, according to the present invention, when cleaning of the optical system
10 is required, the intensity of exposure light is set to a stronger intensity, so as to effectively clean the optical elements in the optical system. After the cleaning is completed, the intensity of the exposure light (and the wavelength) and the concentration of oxygen are resumed to
15 the original state, and transfer of the mask pattern (exposure) is performed. On exposure, the generation of ozone by photochemical reaction can be suppressed at a low level, therefore, the absorption of the exposure light by ozone is low, and thus exposure can be performed with the exposure light
20 having a sufficiently high transmittance. As a consequence, the mask pattern can be transferred onto the substrate with high precision, improving both the yield and productivity on manufacturing microdevices.

According to the eighth aspect of the present invention,
25 there is provided a third exposure method which transfers a mask pattern onto a substrate through an optical system with first light having an exposure wavelength and being emitted from a light source, and the method comprises: irradiating

second light onto at least one optical element which is arranged between the light source and the substrate for a predetermined period of time, the second light being changed from the first light with respect to at least one of intensity, wavelength, and width of wavelength; and irradiating the first light onto the mask after irradiating the second light onto the optical element and transferring the mask pattern onto the substrate.

According to the ninth aspect of the present invention, there is provided a light source unit which emits first light having an exposure wavelength, the light source unit comprising a switching mechanism which switches the first light into second light having a wavelength which absorption by oxygen is greater than that of the first light.

In this case, the light source unit can be arranged in the exposure apparatus, and the light source unit can emit the first light when transferring the mask pattern onto the substrate, and can emit the second light when cleaning at least one optical element which is arranged between the light source and the substrate.

Also, in this case, the switching mechanism can be controlled by a controller, which controls overall operation of the exposure apparatus.

Also, in the lithographic process, patterns can be formed on substrates with high precision by using each of the first to third exposure methods in the present invention, and microdevices of a higher integration can be manufactured with a high yield, improving the productivity. Similarly, in the

lithographic process, patterns can be formed on substrates with high precision by using each of the first to third the exposure apparatus in the present invention, and the yield of and productivity on manufacturing microdevices can both
5. be improved. Accordingly, a microdevice of a higher integration can be manufactured with a high yield, improving the productivity. Therefore, according to still another aspect of the present invention, there is provided a device manufacturing method using the exposure method and exposure
10 apparatus of the present invention, and a device manufactured by the device manufacturing method.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

In the accompanying drawings:

15 Fig. 1 is a schematic view showing the configuration of the exposure apparatus of an embodiment of the present invention;

Fig. 2 is a view showing a structure of a light source unit in Fig. 1;

20 Fig. 3 is a view showing a modified structure of a light source unit in Fig.1;

Fig. 4 is a view showing a structure of a beam matching unit BMU in Fig.1;

25 Fig. 5 is a line graph showing the light intensity distribution of light having a wavelength around 193.3nm passing through a dry air environment.

Fig. 6 is a view to describe the case when a gas mixture of dry air and ozone is supplied to an optical system of the

exposure apparatus in Fig. 1.

Fig. 7 is a flow chart for explaining an embodiment of a device manufacturing method according to the present invention; and

5 Fig. 8 is a flow chart showing processing in step 404 in Fig. 7.

Description of the Preferred Embodiments

The first embodiment of the present invention will be
10 described below with reference to Fig. 1 to 6. Fig. 1 schematically shows the general structure of the exposure apparatus 10 of an embodiment. The exposure apparatus 10 is a scanning type exposure apparatus for manufacturing semiconductor devices that employs the step-and-scan method,
15 and transfers a pattern of a reticle R as a mask onto a plurality of shot areas on a wafer W as a substrate.

The exposure apparatus 10, comprises a light source unit 12, illumination optical system 14, a reticle stage RST to hold a reticle R as a mask, a projection optical system PL,
20 a wafer stage WST to hold a wafer as a substrate, and a control system for these components.

As the light source unit 12, an ArF excimer laser unit is used. The light source 12, in practice, is installed on the surface of the floor or in a different room (for example
25 in a service room in which the degree of cleanliness is lower than that of a super clean room where the main body of the exposure apparatus is installed, or in a utility space provided beneath the floor). In Fig. 1, however, for the sake of

convenience, the light source unit 12 is shown above the illumination optical system 14. The light source unit 12 is connected via a beam matching unit BMU, which is a light transmitting system and structured of a housing and optical elements (e.g. a plurality of deflection mirrors) arranged in the housing, to the illumination optical system 14.

The concrete structure of the beam matching unit BMU will be described later.

In this embodiment the beam matching unit BMU and the illumination optical system 14 structure an optical system for illumination in which the light source unit 12 irradiates the reticle R.

The light source unit 12 comprises: a laser resonator 12a; a beam splitter 12b which has a transmittance of 97% and is arranged along the optical path of the laser beam emitted from the laser resonator 12a; a beam monitor mechanism 12c arranged on the optical path of the reflection beam of the beam splitter 12b; a high voltage power supply 12d (not shown in Fig.1, refer to Fig. 2 and Fig. 2); and the like.

Fig. 2 shows an example of the structure of the light source unit 12. As shown in Fig. 2, each component described above which structures the light source (such as 12a, 12b, 12c and 12d) are housed in a housing 13.

As shown in Fig.2, the laser resonator 12a comprises: an excimer laser tube (laser chamber) 202 which includes a discharge electrode; a total reflection mirror (rear mirror) 201 arranged at the rear of the eximer laser tube 202 (on the left hand side in Fig. 2); a low reflection mirror (front

mirror) 205 arranged in front of the excimer laser tube 202 (on the right hand side in Fig. 2); a fixed Fabry-Perot etalon 203 arranged sequentially in between the excimer laser tube 202 and the low reflection mirror 205 and a angularly movable 5. Fabry-Perot etalon 204.

In this case, the rear mirror 201 and the front mirror 205 configure the resonator, which increases the coherency.

The Fabry-Perot etalon (hereinafter referred to as etalon) 203 and the etalon 204 configure the narrow-banding 10 module. More particularly, the etalon 203 and the etalon 204 are two quartz plates arranged in parallel to face each other in a predetermined interval, and operate as a band pass filter. Of the etalon 203 and the etalon 204, the etalon 203 is for rough adjustment, and the etalon 204 is for fine adjustment. 15 The etalon 203 and etalon 204 narrows and outputs the spectral line width (bandwidth) of the laser beam LB emitted from the laser resonator 12a to around $1/100 - 1/300$ of the natural bandwidth. By adjusting the tilt of the etalon 204, the wavelength of the laser beam LB (oscillation wavelength) 20 emitted from the laser resonator 12a can be shifted within a predetermined range.

Alternatively, the laser resonator 12a can be structured as in Fig. 3. With the laser resonator 12a in Fig. 3, the etalon 203 for rough adjustment is omitted, and instead of the rear 25 mirror 201 a reflection type diffraction grating (grating) 206 which is angular movable can be arranged as a wavelength selective element. In this case, the resonator is configured of the grating 206 and the front mirror 205. And the

narrow-banding module is configured of the grating 206 and the etalon 204. In the case of the laser resonator 12a in Fig. 3, the grating 206 is used for rough adjustment, and the etalon 204 is used for fine adjustment. Either angle of the grating 206 and the etalon 204 can be changed, when changing the wavelength of the laser beam LB (oscillation wavelength) emitted from the laser resonator 12a within a predetermined range.

Alternatively, the narrow-banding module can be structured of combining a prism and a diffraction grating (grating).

The beam monitor mechanism 12c, in this embodiment, is configured of a diffuser, an etalon element, a line sensor and an energy monitor (not shown in Figs.). The detection signal of the beam monitor mechanism 12c is sent to a controller 20. The light, which passes through the diffuser, diffracts at the etalon element, and forms a fringe pattern. The fringe pattern corresponds to the central wavelength of the incident light and the spectral half bandwidth (wavelength width), and the imaging signal of the fringe pattern is output to the controller 20 from the line sensor. The controller 20 performs a predetermined process to the imaging signal of the fringe pattern, and obtains the information of the optical properties of the incident light on the beam monitor mechanism 12c. Also, the controller 20 detects the energy power of the laser beam LB, in accordance with the output of the energy monitor.

In the light source unit 12, a driving mechanism 18 is

also arranged (refer to Figs. 2 and 3). The driving mechanism 18 drives the spectral devices structuring the laser resonator 12a, such as the etalon 204 (in Fig. 2), the grating 206 and the etalon 204 (in Fig. 3) and gratings and prisms.

5 The driving mechanism 18 is controlled by the controller 20 based on the information of the optical properties of the incident light on the beam monitor mechanism 12c (the detecting results of the beam monitor 12c), and the central wavelength and the spectral half bandwidth (wavelength width) is
10 controlled to be within the predetermined range. In this case, the central wavelength is continuously adjusted within the predetermined range, for example, within the range of 192.9 nm to 193.6 nm. That is, in this embodiment, the driving mechanism 18 configures a switching mechanism to adjust the
15 wavelength of the laser beam (ArF excimer laser beam) emitted from the laser resonator 12.

Also, the controller 20 controls the power supply voltage of the high-voltage power supply 12d by feedback control so that the value of the energy per pulse of the light
20 source unit 12 is controlled so as to correspond to a target value of energy per pulse. This is performed, based on the energy power detected from the output value from the energy monitor structuring the beam monitor mechanism 12c upon ordinary exposure.

25 On the side of the illumination optical system 14 of the beam splitter 12b arranged in the housing 13 of the light source unit 12, a shutter 12f is arranged to cut off the laser beam in accordance with information from the controller 20.

Fig. 4 shows a configuration of the beam matching unit BMU. The main function of the beam matching unit BMU, is to match the position of the optical path of the narrowed laser beam (hereinafter, appropriately referred to as "ultraviolet pulse light" or "ArF excimer laser beam") LB incident from the laser light source 12 with the illumination optical system 14. In short, the incident position and incident angle of the ultraviolet pulse light LB is adjusted to an optimum so that the light is always incident on a predetermined position with respect to an optical axis of the illumination optical system 14.

The beam matching unit BMU in Fig. 4, is structured of a first optical delay element 52 and a second optical delay element 54, sequentially arranged on the optical path of the ultraviolet pulse light LB.

The first optical delay element 52, is arranged in a predetermined angle in respect to a plane perpendicular to an optical axis of the optical path of the ultraviolet pulse light LB. It is configured of: a half mirror 56 as a beam splitter, which partially passes the ultraviolet pulse light LB, and the remaining beam reflected and split; and three mirrors 58, 60 and 62 arranged on the optical path of the reflecting beam of the half mirror 56 that structure a delay optical path 64 which is triangular and delays the reflecting beam for a predetermined period of time. As the half mirror 56, a mirror that has a reflectance of around 33% to 50% is used. Also, the optical length of the delay optical path 64 is, for example, two times of a coherence length d , i.e. $2d$.

The coherence length d is determined by the wavelength distribution of light within a spatial resolution at a position near the light source unit 12 conjugate with the pattern surface of the reticle R being the irradiated surface.

5 Accordingly, the reflected light reflected by the half mirror 56, sequentially proceeds to mirror 58, mirror 60 and mirror 62 and then returns to the half mirror 56 the time corresponding to the difference of the $2d$ and the optical path (hereinafter referred to as "delay time T " for convenience) later than the

10 light passing through the half mirror 56. The light returning to the half mirror 56, is split into the passing beam and the reflected light again, and the reflected light proceeds along the same optical path as the passing beam (primitive ray) to the second optical delay element 54. In this case, the light

15 proceeds around the delay optical path infinite times, therefore, in principle the light emerges from the half mirror 56 infinite times. Due to the reflectance of the half mirror and mirrors, however, the light amount emerging is almost null on the third or fourth round.

20 The first optical delay element 52, as described above, gives the light split by the half mirror 56 a delay time T , therefore deflection can be excluded from the series of waves split, reducing the coherency. In this case, the primitive ray is the first beam passing through the half mirror 56.

25 The second optical delay element 54, has a structure similar to the first optical delay element 52, and is configured of: a half mirror 66 as a beam splitter arranged along the optical path of the ultraviolet pulse light LB

emitted from the first optical delay element 52; and three mirrors 70, 72 and 74 arranged so as to form a delay optical path 68 which is a triangular shape. In this case, the mirror 66 is arranged so that the normal direction of the surface of the mirror 66 and the normal direction of the surface of the half mirror 56 are perpendicular to each other. Accordingly, the plane formed by the delay optical path 64 described earlier and the plane formed by the delay optical path 68 is perpendicular. And the optical path length of the delay optical path 68 is three times as long as that of the delay optical path 64, i.e. $6d$.

Accordingly, the reflected light reflected by the half mirror 66, sequentially proceeds to mirror 70, mirror 72 and mirror 74 and then returns to the half mirror 66 the time corresponding to the difference of the $6d$ and the optical path, i.e. $3T$ later than the light passing through the half mirror 66. The light returning to the half mirror 66, is split into the passing beam and the reflected light again, and the reflected light proceeds along the same optical path as the passing beam to a beam shaping optical system in the illumination optical system 14, which will be described later. In this case, as with the case described earlier, deflection can be excluded from the series of waves split, reducing the coherency. In this case, the primitive ray is the first beam passing through the half mirror 66.

In the beam matching unit BMU having the structure described above, the angle of deviation of the half mirror 56 and half mirror 66 is controlled by the controller 20 via

an autocollimator which is not shown in Figs. By this control, the ultraviolet pulse light LB is adjusted so that it is always incident on a predetermined position with respect to an optical axis of the illumination optical system 14, the incident position and incident angle of the ultraviolet pulse light LB being adjusted to an optimum. That is, matching of the optical axis is performed. Along with the angle of deviation of the half mirror 56 and half mirror 66, the controller 20 controls the angle of deviation of the mirror 70, 72 and 74 via the autocollimator, which is not shown in Figs.

Details of optical delay elements (optical delay circuits) are disclosed in Japan Patent Laid Open No. 10-117434 and the corresponding U.S. Patent Application No. (Serial No.) 09/300660 (Application date, April 27, 1999), and as long as national laws in designated states or elected states, to which this international application is applied, permit, the above cited disclosures are fully incorporated by reference herein.

Furthermore, in this embodiment, as shown in Fig. 4 by the arrows C, C', D and D' the half mirror 56 and half mirror 66 are structured so as to be insertable/detachable along the optical path of the ultraviolet pulse light LB respectively, by a sliding mechanism not shown in Figs. The controller 20 controls the sliding mechanism, as will be described later on. Naturally, in the case the half mirror 56 and half mirror 66 is withdrawn to the position shown in Fig. 4 by the imaginary line, the laser beam (ultraviolet pulse light) LB emitted from the light source unit 12 is directly incident on the

illumination optical system 14.

Referring back to Fig. 1, the illumination optical system 14, as is disclosed in detail in Japan Patent Laid Open No. 04-196513 and the corresponding U.S. Patent No. 5,473,410, is configured of components such as: a beam shaping optical system (structured of a cylinder lens and a beam expander) arranged in a predetermined relationship within a housing, a rough energy adjuster, a fly-eye lens that form a secondary light source optical system; a condenser lens; a reticle blind; and a image forming lens, and the like (not shown in Figs.). As long as national laws in designated states or elected states, to which this international application is applied, permit, the disclosures of the Japan Patent Laid Open and U.S. Patent cited above are fully incorporated by reference herein.

The illumination optical system 14, illuminates the rectangular (or arcuated) illumination area on the reticle R with illumination light for exposure having an illumination distribution almost uniform. In the illumination optical system 14, inbetween the secondary light source optical system and image forming lens system, a beam splitter 14a that has a transmittance of around 97% is arranged. Along the optical path of the reflected light, an incident light measurement device 22 referred to as an integrator sensor made of a photoelectric conversion element, is arranged. The photoelectric conversion signal of the incident light measurement device 22 is sent to the controller 20. The output of the incident light measurement device 22 is calibrated in advance with respect to a base illuminometer. Also, in

respect to the output of the incident light measurement device 22, the output of the energy monitor described previously is calibrated, and the conversion coefficient (or the conversion function) of the both output values are obtained in advance, and the conversion coefficient is stored in the main controller 20.

On the reticle stage RST, the reticle R is fixed, for example by electrostatic suction. The reticle stage RST, is drivable in a predetermined scanning direction (Y axis direction in this case) in a designated scanning velocity via a reticle driving portion 24, which includes a linear motor provided on a reticle base not shown in Figs. The reticle stage RST, is also finely drivable in an X axis direction which is perpendicular to the Y axis direction, and in the rotatable direction around a Z axis (θ direction) which is perpendicular to the XY plane.

The position of the reticle stage RST, is detected at all times by a reticle laser interferometer (hereinafter referred to as "reticle interferometer") 25 by a resolution of around 0.5 to 1nm. The information obtained by the reticle interferometer 25 is sent to the main controller 20, and the main controller 20 controls the reticle stage RST in accordance with the positional information (or the velocity information) through the reticle driving portion 24.

The projection optical system PL is arranged below the reticle stage RST as shown in Fig. 1, and the optical axis direction AX, is the Z direction. The projection optical system, in this case, is a double telecentric reduction optical

system, and within the barrel a plurality of lens element arranged in a predetermined relationship which structures a refraction optical system is used. The projection magnification of the projection optical system PL, is for example, $1/5$ (or $1/4$). Therefore, when the illumination area of the reticle R is irradiated by the illumination light of the illumination optical system 14, the light passes through the reticle R and via the projection system, forming a reduced image (inverted image) of a circuit pattern fabricated on the illumination area of the reticle R on the wafer coated with photo resist, onto an exposure area conjugate with the illumination area.

The wafer stage WST, is arranged below the projection system PL, and is driven within an XY two-dimensional plane on a wafer base (not shown in Figs.) by a driving unit 26 which includes a linear motor or a magnetic levitation type planar motor, and the like. On the upper surface of the wafer stage WST, a wafer W as a substrate is fixed through a wafer holder (not shown in Figs.) for example, by electrostatic suction.

Also, on the upper surface of the wafer stage WST, a movable mirror 28 is provided. A wafer laser interferometer (hereinafter referred to as "wafer interferometer") 30 irradiates a measurement beam onto the mirror 28 so as to detect the position of the wafer stage WST within the XY plane at all times, by, for example, a resolution of around 0.5 to 1nm. The positional information (or the velocity information) collected by the wafer interferometer 30 is sent to the controller 20, and the controller 20 controls the wafer stage

WST through the driving unit 26 in accordance with the information.

Furthermore, on the upper surface of the wafer stage WST, an exiting light measurement device 32 is fixed, which
5: is made of a photoelectric conversion element. The exiting light measurement device 32 is set so that the light receiving surface is almost the same level as the surface of the wafer W. The photoelectric conversion signal of the exiting light measurement device 32 is sent to the controller 20.

10 The output of the exiting light measurement device 32 is calibrated in advance with respect to the output of the incident light measurement device 22, and the conversion coefficient (or the conversion function) of the both output values are obtained in advance, and the conversion coefficient
15 is stored in the main controller 20.

Furthermore, with the exposure apparatus 10 in this embodiment, each optical system, that is, the beam matching unit BMU, illumination optical system 14, and the projection optical system PL respectively are connected with an intake
20 pipe system and an exhaust pipe system.

More particularly, the structure of the intake pipe system includes a first, second and third intake pipe, i.e. 34A, 34B and 34C. One end of the first, second and third intake pipes are respectively connected to (the housing of) the beam
25 matching unit, (the housing of) the illumination optical system 14, and (the barrel of) the projection optical system. The other end of the intake pipe 34A, 34B and 34C are divided into two ends, one end connected to a gas tank not shown in

Figs. (containing nitrogen gas N_2 (with an oxygen concentration of less than 1%)) and the other end connected to an air tank which contains dry air also not shown in Figs.

Along each divided end of the first intake pipe 34A, a first solenoid valve 38A and a second solenoid valve 38B are respectively arranged, so as to open/close the flow of the pipe (gas passage). Identically, along the divided ends of the second intake pipe 34B, a third solenoid valve 38C and a fourth solenoid valve 38D are respectively arranged, so as to open/close the flow of the pipe (gas passage). Again, along the divided ends of the third intake pipe 34C, a fifth solenoid valve 38E and a sixth solenoid valve 38F are respectively arranged, so as to open/close the flow of the pipe (gas passage).

The first to sixth solenoid valves 38A to 38F are opened/closed by the controller 20 (which will be described later on).

The exhaust pipe system comprises a first, second, and a third exhaust pipe 40A, 40B, and 40C. One end of the first second and third exhaust pipe 40A, 40B and 40C are respectively connected to (the housing of) the beam matching unit, (the housing of) the illumination optical system 14, and (the barrel of) the projection optical system. It also comprises a main exhaust pipe 42, to where the other end of the 40A, 40B, and 40C are respectively connected.

Along the first, second, and third exhaust pipe, a first, second, and third oxygen sensor 44A, 44B, and 44C are respectively arranged in order to detect the oxygen

concentration of the gas flowing in the exhaust pipe (gas passage). The detecting results of these three oxygen sensors 44A, 44B, and 44C are sent to the controller 20.

The controller 20 is structured with a microcomputer
5: (or a workstation) as a core, and controls the operation of the respective components described earlier in the exposure apparatus 10, as well as the opening/closing of the first to sixth solenoid valves 38A to 38F. The controller 20 also can perform calculation operations. It can calculate, for
10 example, the transmittance of the optical system from the light source unit 12 to the position of the beam splitter 14a (hereinafter appropriately referred to as "a first transmittance") based on the output of the incident light measurement device 22 and the output of the energy monitor
15 which structures the beam monitor mechanism 12c. Also the controller 20 can calculate the transmittance of the optical system from the position of the beam splitter 14a to the wafer surface (hereinafter appropriately referred to as "a second transmittance") based on the output of the incident light
20 measurement device 22 and the output of the exiting light measurement device 32.

Next, the self-cleaning operation of the optical system (beam matching unit BMU, illumination optical system 14, projection optical system PL) in the exposure apparatus 10
25 structured as above, will be described. To be more accurate, the self-cleaning operation of the optical elements (such as lenses, beam splitters) configuring the optical system will be described mainly through the operation of the controller

20.

As a premise, the first to sixth solenoid valves 38A to 38F are closed, however, nitrogen gas having a high concentration of oxygen (a first gas) under 1% still remains within the interior of the exhaust pipe system and the optical system.

On starting the self-cleaning, the controller 20 opens the second, fourth, and sixth solenoid valves, 38B, 38D, and 38F. By this operation, the dry air (a second gas) stored in the gas tank (not shown in Figs.) starts to flow into the beam matching unit BMU, the illumination optical system 14, and the projection optical system PL through the intake pipes 34A, 34B, and 34C.

Next, the controller 20 starts sending the trigger pulse to the high voltage power supply 12d; consequently the laser resonator 12a starts to emit the laser beam LB. At this stage, the shutter 12f is still in a closed state.

With the emitting of the laser beam LB, the laser beam (ultraviolet pulse light) LB is incident on the beam monitor mechanism 12c via the beam splitter 12b. The beam monitor mechanism 12c, then sends the imaging signal of the fringe pattern and information on the pulse energy value to the controller 20.

The controller 20, then adjusts the angle of the etalon 204 (or the grating 206) which configure the laser resonator 12a through the driving mechanism 18, according to the information from the beam monitor mechanism 12c so as to change the wavelength of the laser beam to approximately 193.23nm.

Thus the wavelength of the laser beam LB emitted from the laser resonator 12a is changed to 193.23nm.

The reason why the wavelength of the ArF excimer laser beam is adjusted to 193.23nm is now described. Fig. 5 is a chart showing the light intensity distribution in the case of an ArF excimer laser beam having a wavelength around 193.23nm passing through a dry air environment. In Fig. 5, the horizontal axis shows the wavelength (nm), and the vertical axis shows the light intensity (energy intensity) of the laser beam. In other words, Fig. 5 practically shows the absorbing spectrum of oxygen of the ArF excimer laser beam.

As is obvious from Fig. 5, only a small difference in wavelength greatly changes absorption of oxygen around the wavelength of 193nm. By looking at the light intensity distribution, the light intensity seems to be the weakest around the wavelength of 193.02nm, and the absorption amount of oxygen seems to be the greatest. In the wavelength range of 192.9nm to 193.6nm, however, the broad (prior to narrow banding) light intensity distribution from the ArF excimer laser light source tends to be stronger around the center, and the light intensity is originally weak around the wavelength of 193.02nm. So, even if the wavelength of the ArF excimer laser beam is adjusted to this wavelength, the energy absorption amount by oxygen will not increase so much. On the other hand, as for the wavelength around 193.23nm, originally the light intensity is strong, and in addition the light intensity of the ArF excimer laser beam passing through the dry air environment is weaker compared to the wavelength in

sequence. Consequently, this wavelength is presumably a wavelength in which the energy absorption amount by oxygen is the greatest, in the adjustable range. Therefore, in this embodiment, by adjusting the wavelength of the ArF excimer laser beam to 193.23nm, the oxygen allows maximum absorption of the optical energy of the ArF excimer laser beam. A maximum level of ozone O_3 is thus, generated by photochemical reaction and the optical elements can be effectively cleaned by the oxidation of ozone.

10 In parallel with adjusting the wavelength as described above, the controller 20 withdraws the half mirrors 56 and 66, that structure the beam matching unit BMU. The half mirrors are driven off the optical path of the laser beam LB as shown in Fig. 4 with the imaginary lines, in the directions
15 of the arrows C and D via the sliding mechanism not shown in Figs. The withdrawal is performed, so that in the optical cleaning process which will be described next, the laser beam LB (second light) emitted from the light source unit 12 and having a wavelength of 193.23nm is directly incident on the
20 illumination optical system 14, without passing through the first optical delay element 52 and the second optical delay element 54 (each optical element). The reason the laser beam needs to be directly incident, is because if the beam passes through the first optical delay element 52 and the second
25 optical delay element 54, the intensity of the beam irradiating the illumination optical system 14 weakens. This consequently decreases the amount of ozone generated by the photochemical reaction, which in turn reduces the cleaning

effect caused by the oxidation of ozone. That is, the peak power of the laser beam need to be maintained extremely high, so as to perform effective cleaning of the optical elements, and shorten the necessary cleaning time.

5 As soon as the withdrawal of the half mirrors 56 and 66 is completed, the controller 20 opens the shutter 12f, which is arranged within the light source unit 12. Then the laser beam LB is emitted from the light source unit 12, and the laser beam LB irradiates the gas interior of the beam matching unit
10 BMU, illumination optical system 14 and projection optical system PL, and each optical elements configuring the beam matching unit and optical systems. Self-cleaning is thus started, by the irradiating ArF excimer laser beam (the second light) which has a wavelength of 193.23nm. The first gas,
15 within the optical system, is almost completely replaced with dry air, just before, or right after the self-cleaning has started.

Right after the self cleaning has started, the controller 20 monitors the output of the interferometer 30
20 and drives the wafer stage WST via the driving unit 26 so as to position the exiting light measurement device 32 directly under the projection optical system PL. The controller 20 simultaneously gathers the output of the incident light measurement device 22 and the output of the energy monitor
25 structuring the beam monitor mechanism. Then, it calculates the first and second transmittance, and drives the wafer stage so that the exiting light measurement device 32 is withdrawn from under the projection optical system PL. The process of

determining the position of the exiting light measurement device 32 directly under the projection optical system, measuring and calculating the transmittances, and withdrawing the wafer stage WST from under the projection optical system
5. PL is repeated at a predetermined interval.

By continuing the irradiation of the laser beam LB from the laser resonator 12a during the state described above, the organic contaminants adhered on the surface of the optical elements of the illumination optical system 14 and the
10 projection optical system PL are shattered by the laser energy. The oxidation of ozone generated by the photochemical reaction also cleans the contaminants off of the surface of the optical elements of the beam matching unit BMU, illumination optical system 14 and the projection optical system PL, thus improving
15 the transmittance of the optical system.

The controller 20, as mentioned earlier monitors the change in the first and second transmittance obtained at predetermined intervals. And when the change in each transmittance does not exceed a permissive value, for example,
20 almost zero, in other words, the change in the first and second transmittance by time have saturated, the controller 20 judges that the cleaning is completed. The controller 20 then closes the shutter 12f, and stops sending the trigger pulse to the high voltage power supply 12d arranged in the light source
25 unit 12.

In this embodiment, such cleaning operation of the optical elements is to be performed when the optical elements of the optical system are apt to be contaminated: such as right

after the making of the exposure apparatus; after long hours of stopping the operation of the exposure apparatus; and upon changing the exposure conditions or the illumination conditions (to be more specific, such as when changing the aperture stop plate of the illumination optical system 14, 5 changing the reticle, and changing the pupil aperture of the projection optical system PL). The downtime during the operation of the exposure apparatus can be reduced to a minimum and can perform effective cleaning of the optical elements, 10 so the full performance of the exposure apparatus itself can be maintained.

The exposure operation of the exposure apparatus 10 is briefly described next.

First, reticle loading and wafer loading are performed 15 under the control of controller 20, by the reticle loader and wafer loader not shown in Figs.

Prior to the reticle loading, the self-cleaning of the optical elements, as described above, is performed, and upon completing the cleaning, the adjustment of the wavelength of 20 the excimer laser beam and replacement of the gas within the optical system is performed as follows.

In short, when the controller 20 judges that the cleaning of the optical elements has been completed, it shuts the shutter 12F in the light source unit 12. It then adjusts the 25 wavelength of the laser beam LB emitted from the laser resonator 12a via the driving mechanism 18 to 193.30nm, which is the exposure wavelength, while monitoring the output of the beam monitor mechanism 12c. Thus, when the shutter 12f

is opened, the laser beam LB that has the exposure wavelength (first light) is emitted from the light source unit 12. However, at this stage, the shutter 12f remains closed.

When the shutter 12f is closed, the controller 20
5 simultaneously closes the second, fourth, and sixth solenoid valves, 38B, 38D, and 38F, as well as open the first, third, and fifth solenoid valves, 38A, 38C, and 38E. By this operation, the from the gas tank not shown in Figs. a high concentration of nitrogen gas (the first gas) that has an
10 oxygen concentration not exceeding 1% is supplied respectively to the beam matching unit BMU, illumination optical system 14 and projection optical system PL via the first, second, and third intake pipe 34A, 34B and 34C. After a predetermined period of time, the dry air remaining within
15 the beam matching unit BMU, illumination optical system 14 and projection optical system PL is practically replaced with the nitrogen gas. In this case, the controller 20 judges that the replacement has been completed by the output of the first, second, and third sensor 44A, 44B, and 44C, when the oxygen
20 concentration output of all three sensors fall within 1%.

Furthermore, almost simultaneously with the shutter 12f closing, the controller 20 drives the half mirror 56 and 66 configuring the beam matching unit BMU via the sliding unit not shown in Figs. The half mirrors 56 and 66 are driven in
25 the directions shown in Fig. 4 by the arrows C' and D', and inserted into the optical path of the laser beam LB shown by a solid line. In this case, the adjustment of matching the optical axis and of the angle of deviation of the mirror 58,

60, and 62, previously described, are performed in advance. And the tilt of the half mirror 56, 66, and mirror 58, 60, 62, 70, 72, and 74 are to be respectively maintained in the adjusted state.

5 The controller 20 can also open the shutter 12f, if necessary, and then close the shutter 12f after the adjustment of matching the optical axis and of the angle of deviation of the mirror 58, 60, 62, 70, 72, and 74 via the autocollimator not shown in Figs.

10 In either case, when the shutter 12f is opened, the laser beam LB having the exposure wavelength (the first light) emitted from the light source unit 12 proceeds via the first optical delay element 52 and the second optical delay element 54 which structures the beam matching unit BMU. It then
15 proceeds into the illumination optical system 14, consequently reducing the coherence on the irradiating surface, such as the pattern surface of the reticle R.

 When the wavelength adjustment of the laser beam LB, replacement of the interior gas of the optical system, and
20 the insertion of the half mirror 56 and 66 into the optical path are all completed, the controller 20 then prepares for reticle alignment and baseline measurement based on predetermined procedures. The reticle alignment and base
line measurement uses a reticle microscope, a reference mark
25 plate on the wafer stage WST, and an alignment detection system which are not shown in Figs. In this case, the controller 20 performs the reticle alignment by opening the shutter 12f, and using the light with the exposure wavelength. The details

of preparations for the reticle alignment and the baseline measurement, are disclosed in detail in, for example, Japan Patent Laid Open No. 04-324923, and the corresponding U.S. Patent No. 5,243,195. As long as the national laws in
5 designated states or elected states, to which this international application is applied, permit, the disclosures cited above are fully incorporated by reference herein.

In the case the reticle alignment is performed with light having a wavelength other than the exposure wavelength, it
10 can be performed in parallel with adjustment of the laser beam wavelength, or with the interior gas replacement of the optical system.

Then, the controller 20 performs alignment measurement such as EGA (enhanced global alignment) that is disclosed in
15 detail, for example, in Japan Patent Laid Open No. 61-44429, and the corresponding U.S. Patent No. 4,780,617, by using the alignment detection system not shown in Figs. As long as the national laws in designated states or elected states, to which this international application is applied, permit, the
20 disclosures cited above are fully incorporated by reference herein.

After completing the alignment measurements, exposure based on the step and scan method is performed as follows.

On exposure, the controller 20, first of all, moves the
25 wafer stage WST so that the XY position of the wafer W is located on the starting position of scanning exposure in the initial shot area (first shot). The controller 20 also moves the reticle stage RST, so that the XY position of the reticle R

is located on the starting position of scanning exposure. The controller 20 performs scanning exposure by synchronously moving the reticle R and wafer W via the reticle driving portion 24 and the driving unit 26 in a speed velocity with respect to the projection magnification of the projection optical system PL, in opposite directions along the Y axis. The light amount during the scanning exposure is controlled in accordance with the output of the incident light measurement device 22 and the output of the energy monitor. For example, it can be controlled by adjusting the pulse energy of the laser beam emitted from the laser resonator 12a, or by adjusting the oscillation frequency of the laser resonator 12a.

After the transfer of a reticle pattern in a shot area is completed as described above, the wafer stage WST performs a stepping movement which covers one shot area, and the scanning exposure of the next shot area begins. The stepping movement and scanning exposure are, repeated sequentially, and thus the necessary numbers of patterns are transferred onto the shot areas of the wafer.

On exposing each shot area on the wafer W, the optical elements of the optical system are cleaned in advance and in the state that the optical properties can be exhibited to the maximum. Therefore, the deterioration of patterns transferred onto the wafer that is caused by the deterioration of the image forming performance of the optical system upon scanning exposure can be suppressed. Also, on scanning exposure, the first optical delay element 52 and the second optical delay element 54 which structures the beam matching

unit BMU reduce the coherence on the irradiating surface. The interference fringes and speckles, which occur on the pattern surface of the reticle R and the conjugating exposure surface of the wafer W, thus, can be effectively suppressed, consequently improving the controllability of the pattern line width.

As is obvious with the description so far, in this embodiment, an adjustment unit is structured by: the first and second optical delay element 52 and 54; and the sliding mechanism which inserts/detaches the beam splitter 56 and 66 configuring the first and second optical delay elements into/from the optical path of the laser beam LB. The adjustment unit is arranged along a portion of the optical path from the light source unit 12 to the arrangement surface of the reticle R and the exiting light intensity can be adjusted by this unit.

From the descriptions above, with the exposure apparatus 10, self-cleaning operation is performed in the optical system (beam matching unit BMU, illumination optical system 14 and projection optical system PL). To be more precise, the self-cleaning operation of the optical elements within the housing structuring the optical systems is performed by the laser beam which has a wavelength adjusted so that the energy absorbed by oxygen is at the maximum. Upon the self-cleaning, dry air that has a high concentration of oxygen is purged into the optical system so that there is a sufficient amount of oxygen along the optical path. The laser beam then breaks down the organic structure of the contaminants, and ozone generated

by the photochemical reaction is oxidized and effectively cleans the contaminants adhered on the optical elements within a short period of time. When this cleaning is performed, the half mirrors 56 and 66 are withdrawn from the optical path, so that the light intensity used for cleaning is stronger than that of the light used for exposure, to result in a more effective cleaning. Accordingly, by the improvement of work efficiency, the production cost of microdevices such as integrated circuits can be cut as well as reduce the damage of glass material caused by irradiating a high-energy beam (ArF excimer laser beam).

Furthermore, the optical elements of the optical system can perform self-cleaning in advance (or just before) of exposure, so that the transmittance of the optical system is at the optimum upon exposure, and the pattern transferred onto the wafer can be kept from being deteriorated.

In addition, on exposure the beam splitter 56 and 66 are inserted into the optical path of the laser beam so that optical delay can be performed by the first optical delay element 52 and the second optical delay element 54. This sufficiently reduces the coherence on the irradiating surface, thus effectively suppressing fine interference fringes and speckles on the wafer surface (image plane), and improving the controllability (such as line width uniformity) of the pattern line width transferred onto the wafer. In this case, since the laser beam proceeds through the first and second optical delay elements 52 and 54, the light intensity of the exposure light irradiated on exposure weakens. This

suppresses the photochemical reaction of generating ozone from the small amount of oxygen (within 1%) concentrated in the nitrogen within the interior of the housing, which in turn can suppress the absorption of exposure light by ozone.

5 Consequently, the decrease in transmittance of the exposure light can be prevented.

According to this embodiment, therefore, the yield of microdevices such as integrated circuits can be improved, and also from this aspect the manufacturing cost can be reduced.

10 With the exposure apparatus 10 in this embodiment, cleaning only a part of the optical element, that is, cleaning only one or two of the beam matching unit BMU, illumination optical system 14, and projection optical system PL can be easily performed.

15 For example, in order to clean only the optical elements in the projection optical system which is the furthest from the laser resonator 12a, and is the most difficult to clean, the first solenoid valve 38A and the third solenoid valve 38C can be kept open (in this case, the second solenoid valve 38B

20 and the fourth solenoid valve 38D are both closed), the fifth valve 38E closed, and the sixth valve 38F open. With this operation, the beam matching unit arranged on the upstream of the optical path and the illumination optical system 14 are in a state where nitrogen gas is flowing into the interior.

25 And, in the projection optical system there is enough oxygen supplied to effectively clean the optical elements arranged in the projection optical system PL, while suppressing the energy absorption of the laser beam by oxygen.

In the embodiment described above, cleaning of the optical elements is performed in a state where the nitrogen gas (the first gas) within the optical system is replaced with the dry air (an example of the second gas having a sufficient amount of oxygen). The present invention, however, is not limited to this.

For example, as shown in Fig. 6, instead of supplying dry air through the first, second, and third intake pipe 34A, 34B and 34C, a configuration supplying a mixture of dry gas and ozone O_3 (an example of a third gas containing oxygen and ozone) can be substituted. In this case, the nitrogen gas within the beam matching unit BMU, the housing of the illumination optical system, and the barrel (a type of housing) of the projection optical system PL is replaced with the mixture of dry gas and ozone, and then the ArF excimer laser beam (vacuum ultraviolet light) with a wavelength of 193.23nm is irradiated on each housing. By irradiating the ArF excimer laser beam, the energy of the beam then breaks down the organic structure of the contaminants adhered on the surface of the optical elements. The ozone generated by the photochemical reaction of oxygen, along with the ozone mixed in the gas within the system, further cleans the optical elements effectively by oxidation.

Also, in the embodiment described earlier, the cleaning of the optical elements in the optical system is performed with the nitrogen gas within the beam matching unit BMU, the housing of the illumination optical system, and the barrel (a type of housing) of the projection optical system PL

replaced by the dry gas. The present invention, however, is not limited to this, and the cleaning can be performed without replacing the gas. That is, the nitrogen gas can be supplied to each housing, and the wavelength of the laser beam emitted from the laser light source 12 can be changed to 193.23 and it can be irradiated on each housing for a predetermined period of time for self-cleaning of the optical elements. In this case, as well, the nitrogen within the housing contains a small amount of oxygen (not exceeding 1%), therefore, the oxygen absorbs the laser beam (the energy) and by photochemical reaction, ozone is generated, and by oxidation of ozone the contaminants on the surface of the optical elements are removed. Changing the wavelength of the laser beam is more effective, compared to conventional cleaning where the wavelength of the laser beam is not changed, accordingly, the time required for sufficient cleaning can be reduced. The damage of glass material due to long irradiation hours can also be reduced, due to the reduction.

In the case described above where the gas is not replaced, similar to the embodiment, if the intensity of the laser beam irradiating the illumination optical system 14 is stronger than that of exposure, changing the wavelength of the laser beam emitted from the light source unit 12 may not be required. Because in such a case, the nitrogen within the housing contains a small amount of oxygen (not exceeding 1%), therefore, the oxygen absorbs the laser beam (the energy) and by photochemical reaction, ozone is generated, and by oxidation of ozone the contaminants on the surface of the optical

elements are removed. Enhancing the intensity of the laser beam is more effective, compared to self-cleaning where the intensity of the laser beam is the same as on exposure. Also, in this case, since the intensity of the exposure light is weaker compared to the light used for cleaning, it suppresses the small amount of oxygen (not exceeding 1%) contained in the nitrogen from photochemical reaction, thus suppressing the exposure light from being absorbed by ozone generated by the photochemical reaction. This prevents the transmittance of the exposure light from decreasing.

In the embodiment described above, on cleaning the optical elements of the illumination optical system 14, projection optical system PL, the ultraviolet light is irradiated on the optical elements within the housing of the optical system for a predetermined period of time. However, the present invention is not limited to this. That is, similar to cleaning the optical elements of the beam matching unit BMU as is previously described, the ultraviolet light can be irradiated onto the gas interior of the housing. In the case where there is a sufficient amount of oxygen in the interior of the housing, by irradiating the gas within the housing the oxygen in the gas generates ozone by photochemical reaction, the optical elements can be cleaned by oxidation.

Furthermore, in the embodiment, the controller 20 switches the wavelength of the light emitted from a single light source unit 12 via the driving mechanism 18 between the wavelength of the first light (ultraviolet pulse light with a wavelength of 193.30nm) and the wavelength of the second

light (ultraviolet pulse light with a wavelength of 193.23nm) which energy absorption by oxygen is greater than the first light. However, the present invention is not limited to this, and a first light source emitting the light with the exposure
5 wavelength and a second light source emitting the light with greater energy absorption by oxygen can be arranged. The controller 20 can selectively choose either light to guide to the optical system for illumination (BMU, 14). In this case, the controller 20 can selectively choose the first or second
10 light source unit or a shutter arranged on the light source unit to operate the on/off. Alternatively, a switching unit can be arranged on the optical path between each light source and the illumination optical system 14, so that the optical path can be appropriately switched.

15 And, in the embodiment described above, the switching of the wavelength of the first light (ultraviolet pulse light with a wavelength of 193.30nm) and the wavelength of the second light (ultraviolet pulse light with a wavelength of 193.23nm) which energy absorption by oxygen is greater than the first
20 light is performed by switching the wavelength of the light emitted from the light source unit 12, that is, wavelength shifting. The present invention, however, is not limited to this. For example, in the case of using the laser resonator 12a shown in Fig. 2, the controller 20 can drive the etalon
25 204 which performs fine adjustment and configures the narrow-banding module, via the driving mechanism 18 so that the etalon 204 is insertable/removable from the optical path as shown by the arrows A and A'. In this case, by removing

the etalon 204 from the optical path, the wavelength width can be changed into a wavelength width that includes the range where energy is absorbed by oxygen. Thus, the switching operation to the second light which energy absorption by oxygen is greater than the first light can be achieved.

Alternatively, in the case of using the laser resonator 12a shown in Fig. 3, other than the etalon 204 that is used for exposure, an etalon 207 can be arranged as shown in Fig. 3 by the dotted line for the purpose of optical cleaning. The controller 20 can exchange the etalon 204 and 207 as shown in Fig. 3 by the arrows B and B', inserting the etalon 204 on exposure and the etalon 207 on cleaning. In this case, the etalon 207 can be made of a material that extracts the range of wavelength including the range that absorbs energy by oxygen. In this manner, the wavelength width of the exiting light from the light source (excimer laser chamber 202) can be changed, achieving the switching of the first light to the second light.

Also, in the embodiment previously described, the first optical delay element 52 and the second optical delay element 54 which have a delay optical path of a triangular shape are arranged in the beam matching unit BMU, however, the present invention is not limited to this. The optical delay elements can have an optical path of a square shape, and in such a case, the optical delay path can be arranged of a reflection optical element such as four prisms, instead of four mirrors.

With the exposure apparatus in the embodiment, on optical cleaning, the exposure apparatus can perform either a wavelength shift which switches the wavelength of the light

emitted, change the wavelength width of the emitted light, or change the intensity of the emitted light, or perform a combination of these operations.

In the embodiment described above, the present invention
5 is applied to a scanning type exposure apparatus (a scanning
stepper) for manufacturing semiconductor devices based on the
step-and-scan method, which uses an ArF excimer laser unit
as a light source. The present invention, however, is not
limited to this. For example, the present invention can be
10 suitably applied to a projection exposure apparatus (a
stepper) based on the step-and-repeat method, which uses an
ArF excimer laser unit as a light source. Or, it can be
suitably applied to an ArF excimer laser stepper for liquid
crystal displays or an ArF excimer laser scanning stepper.
15 Also, in the case of F_2 laser beam which belongs to the same
vacuum ultraviolet light region as of the ArF excimer laser
beam, a similar case can be assumed of the energy amount
absorbed by oxygen being different depending on wavelength.
The present invention, therefore, can be applicable to an
20 exposure apparatus using the F_2 laser as the light source.
With this exposure apparatus, the interior of the optical
system, the air in between the illumination optical system
and the projection optical system, and the air in between the
projection optical system and the substrate are replaced with
25 helium gas. So upon cleaning the optical elements, a
wavelength of a large energy absorption by oxygen around the
157nm range is to be chosen and set, and the helium gas interior
of each optical system is to be replaced with a gas containing

oxygen (including a gas containing oxygen and ozone). Self-cleaning is thus, similarly performed, producing the same kind of effects as the embodiment described above.

5 In the embodiment above, nitrogen is used for the gas supplied to the optical path. Alternatively, other inactive gas, rare gas such as helium, neon, argon, krypton, xenon, and radon can be used, or a mixture of more than two types of gases can be used.

Furthermore, all optical elements are not limited to
10 lenses of a refraction system. The elements can be structured of a reflection element (a mirror) being a reflection system, or of a reflection optical element and a refraction optic element configuring a reflection/refraction system. The projection optical system used is also not limited to the
15 reduction system; it may be a one-to-one magnifying system or an enlarged magnifying system.

As the reflection/refraction type projection optical system described above, a reflection/refraction system having a beam splitter and concave mirror as reflection optical
20 elements, which is disclosed in, for example, Japan Patent Laid Open No.08-171054 and the corresponding U.S. Patent No. 5,668,672, and Japan Patent Laid Open No. 10-20195, and the corresponding U.S. Patent No. 5,835,275, can be used. In addition, a reflection/refraction system having a concave
25 mirror and the like as reflection optical elements without using any beam splitter, which is disclosed in, for example, Japan Patent Laid Open No. 08-334695 and the corresponding U.S. Patent No. 5,689,377, and Japan Patent Laid Open No.

10-3039, and the corresponding U.S. Patent Application No. 873,605 (application date: June 12, 1997), can be used. As long as the national laws in designated states or elected states, to which this international application is applied, permit, the disclosures cited above are fully incorporated for reference herein.

Also, a reflection/refraction system disclosed in U.S. Patent Nos. 5,031,976, 5,488,229, and 5,717,518 can be used. In these disclosures, a plurality of refraction optic elements and two mirrors (a main mirror which is a concave mirror, and a sub-mirror which is a rear mirror having a reflecting surface formed on a surface of a refraction element or plane-parallel plate which is located on the opposite side of the incident surface) are arranged coaxially, and an intermediate image of a reticle pattern formed by the plurality of refraction optic elements is re-formed on a wafer by the main mirror and sub-mirror. In this reflection/refraction system, the main mirror and sub-mirror are arranged following the plurality of refraction optic elements, and illumination light passes through a portion of the main mirror to be sequentially reflected by the sub-mirror and main mirror, and reaches the wafer through a portion of the sub-mirror. As long as the national laws in designated states or elected states, to which this international application is applied, permit, the disclosures of the U.S. Patents cited above are fully incorporated for reference herein.

Furthermore, as the reflection/refraction type projection optical system, a reduction system may be used,

which has, for example, a circular image field, and is double telecentric on the object surface side and the image surface side, which has a projection magnification of $1/4$ or $1/5$. A scanning exposure apparatus having the reflection/refraction type projection optical system may be of a type in which an illumination area for illumination light is determined so that it is almost centered on the optical axis of the projection optical system within its field of view, the illumination area extending along a direction perpendicular to the scanning direction of a reticle or wafer, and the shape of the slit being rectangular. With a scanning exposure apparatus having such a reflection/refraction type projection optical system, a fine pattern almost equal to 100nm L/S pattern can be transferred onto a wafer with high precision, by using, for example an F_2 laser beam having a wavelength of 157nm as exposure illumination light.

Also, instead of using an excimer laser beam, a harmonic of a fixed laser such as a YAG laser can be used, which has an oscillation spectrum for example, in one of the wavelength of 284nm, 193nm, and 157nm. A harmonic, which is obtained by amplifying a single-wavelength laser beam in the infrared or visible range being emitted by a DFB semiconductor laser or fiber laser with a fiber amplifier doped with erbium (or both erbium and ytterbium), and converting the wavelength into ultraviolet light using a nonlinear optical crystal, may also be used.

For example, if the oscillation wavelength of a single-wavelength laser is set within the range of 1.51 to

1.59 μm , an eighth-harmonics which generation wavelength falls within the range of 189 to 199 nm or a tenth-harmonics which generation wavelength falls within the range of 151 to 159 nm is output. If the oscillation wavelength is set in the
5 range of 1.544 to 1.553 μm , in particular, an eighth-harmonics which generation wavelength falls within the range of 193 to 194 nm, that is, ultraviolet light having almost the same wavelength as that of an ArF excimer laser beam, can be obtained. If the oscillation wavelength is set within the range of 1.57
10 to 1.58 μm , a tenth-harmonics which generation wavelength falls within the range of 157 to 158 nm, that is, ultraviolet light having almost the same wavelength as that of an F₂ laser beam, can be obtained.

Also, if the oscillation wavelength is set within the
15 range of 1.03 to 1.12 μm , a seventh-harmonics which generation wavelength falls within the range of 147 to 160 nm is output. If the oscillation wavelength is set within the range of 1.099 to 1.106 μm , in particular, a seventh-harmonics which generation wavelength falls within the range of 157 to 158
20 μm , that is, ultraviolet light having almost the same wavelength as that of an F₂ laser beam, can be obtained. And, as a single-wavelength oscillation laser, for example, an ytterbium-doped fiber laser can be used.

As the exposure light source, a Kr₂ laser (krypton dimer
25 laser) having a wavelength of 146 nm, an Ar₂ (argon dimer) laser having a wavelength of 126 nm can be used. A harmonics generator such as a YAG laser or a semiconductor laser, which generates light in the vacuum ultraviolet light region, can

also be used as a light source.

The exposure apparatus of this embodiment can be made by incorporating an illumination optical system configured of a plurality of lenses, and a projection optical system into
5 a main body of the exposure apparatus, and by performing optical adjustment. The reticle stage and wafer stage made of many mechanical components are also incorporated into the main body. Then, the wiring and piping are connected, and finally, overall adjustment (such as electrical adjustment,
10 operation check) is performed. The making of the exposure apparatus, is preferably performed in a clean room in which conditions such as temperature, degree of cleanliness are controlled.

In addition, a semiconductor device is manufactured
15 through the steps of: conducting function and performance design of the device; manufacturing a reticle on based on the design step; manufacturing wafers from a silicon material; transferring the reticle pattern onto the wafer by the use of the exposure apparatus of the embodiment above; assembling
20 the device (including a dicing process, a bonding step, and a packaging process); and inspection.

Following are the details of the device manufacturing method.

<<Device Manufacturing Method>>

25 A device manufacturing method using the above exposure apparatus and method in a lithographic process will be described in detail next.

Fig. 7 is a flow chart showing an example of

manufacturing a device (a semiconductor chip such as an IC or LSI, a liquid crystal panel, a CCD, a thin magnetic head, a micromachine, or the like). As shown in Fig. 7, in step 401 (design step), function/performance is designed for a device (e.g., circuit design for a semiconductor device) and a pattern to implement the function is designed. In step 402 (mask manufacturing step), a mask on which the designed circuit pattern is formed is manufactured. In step 403 (wafer manufacturing step), a wafer is manufacturing by using a silicon material or the like.

In step 404 (wafer processing step), an actual circuit and the like are formed on the wafer by lithography or the like using the mask and wafer prepared in steps 401 to 403, as will be described later. In step 405 (device assembly step), a device is assembled by using the wafer processed in step 404. Step 405 includes processes such as dicing, bonding, and packaging (chip encapsulation).

Finally, in step 406 (inspection step), tests such as a test on the operation of the device manufactured in step 405, and durability test are performed. After these steps, the device is completed and shipped out.

Fig. 8 is a flow chart showing a detailed example of step 404 described above in manufacturing the semiconductor device. Referring to Fig. 8, in step 411 (oxidation step), the surface of the wafer is oxidized. In step 412 (CVD step), an insulating film is formed on the wafer surface. In step 413 (electrode formation step), an electrode is formed on the wafer by vapor deposition. In step 214 (ion implantation

step), ions are implanted into the wafer. Steps 411 to 414 described above constitute a pre-process for the respective steps in the wafer process and are selectively executed in accordance with the processing required in the respective
5 steps.

When the above pre-process is completed in the respective steps in the wafer process, a post-process is executed as follows. In this post-process, first, in step 415 (resist formation step), the wafer is coated with a
10 photosensitive agent. Next, as in step 416, the circuit pattern on the mask is transcribed onto the wafer by the above exposure apparatus and method. Then, in step 417 (developing step), the exposed wafer is developed. In step 418 (etching step), an exposed member on a portion other than a portion
15 where the resist is left is removed by etching. Finally, in step 419 (resist removing step), the unnecessary resist after the etching is removed.

By repeatedly performing these pre-process and post-process, multiple circuit patterns are formed on the
20 wafer.

As described above, by using the device manufacturing method of this embodiment, since the exposure apparatus and exposure method described above are used in the exposure process (step 416), it becomes possible to perform exposure
25 with the optimum transmittance in the projection optical system. Then, the deterioration of the pattern transferred onto the wafer can be prevented, as well as sufficiently reduce the coherence on the irradiating surface so as to improve the

controllability of the pattern line width (for example, line width uniformity) of the pattern transferred onto the wafer. Consequently, the exposure accuracy including the overlay accuracy can be improved, thus making it possible to
5. manufacture high-integrated microdevices which have a high productivity (high yield).

The present invention is not limited to the embodiment described above, and each embodiment can be modified in other specific forms depending on requirements.

10 While the above-described embodiments of the present invention are the presently preferred embodiments thereof, those skilled in the art of lithography systems will readily recognize that numerous additions, modifications and substitutions may be made to the above-described embodiments
15 without departing from the spirit and scope thereof. It is intended that all such modifications, additions and substitutions fall within the scope of the present invention, which is best defined by the claims appended below.

WHAT IS CLAIMED IS:

1. A cleaning method of an optical element housed in a housing, comprising:

5 filling said housing with a first gas containing oxygen;
and

 irradiating the inside of said housing with ultraviolet light having a wavelength which is absorbed by oxygen, for a predetermined period of time.

10

2. The cleaning method of an optical element according to Claim 1, wherein said first gas within said housing is replaced with a second gas which has a higher concentration of oxygen compared to said first gas, upon irradiating said
15 ultraviolet light.

3. The cleaning method of an optical element according to Claim 1, wherein said first gas within said housing is replaced with a third gas which contains oxygen and ozone,
20 upon irradiating said ultraviolet light.

4. The cleaning method of an optical element according to Claim 1, wherein said ultraviolet light has a wavelength of approximately 193.23nm.

25

5. A cleaning method of at least one optical element which is arranged between a light source and a substrate in an exposure apparatus, comprising:

said exposure apparatus irradiating first light which has an exposure wavelength onto said substrate via a mask on which a pattern is formed, said first light being emitted from said light source,

5. irradiating said optical element with second light for a predetermined period of time, said second light being changed from said first light with respect to at least one of intensity, wavelength, and width of wavelength.

10 6. The cleaning method according to Claim 5, wherein said second light is light having a wavelength which absorption by oxygen is greater than that of said first light.

7. An exposure apparatus which transfers a mask pattern
15 onto a substrate through an optical system, said exposure apparatus comprising:

a light source unit capable of emitting first light and second light, said first light having an exposure wavelength and said second light having a wavelength which absorption
20 by oxygen is greater than that of said first light;

an optical system for illumination which irradiates light emitted from said light source unit onto said mask;

a projection optical system which projects light exiting from said mask onto said substrate;

25 a controller which sets said first light from said light source unit to be irradiated onto said mask via said optical system for illumination upon exposure of transferring said mask pattern onto said substrate, and upon cleaning at least

a part of said optical system for illumination and said projection optical system sets said second light from said light source unit to be incident on said optical system for illumination.

5

8. The exposure apparatus according to Claim 7, wherein upon said cleaning when said second light is emitted, said controller purges a cleaning gas which contains at least one of oxygen and ozone along an optical path where an element
10 subject to cleaning is arranged.

9. The exposure apparatus according to Claim 8, wherein said cleaning gas is a gas which sufficiently contains oxygen.

15 10. The exposure apparatus according to Claim 8, wherein said cleaning gas is a gas which contains oxygen and ozone.

11. The exposure apparatus according to Claim 8,
20 wherein upon said exposure, prior to emitting said first light, said controller purges a gas which index of refraction is close to 1 into said optical system.

12. The exposure apparatus according to Claim 7,
25 wherein

said light source unit has a first light source which emits said first light and a second light source which emits said second light; and

said controller selectively chooses one of said first light from said first light source and said second light from said second light source to guide to said optical system for illumination.

5.

13. The exposure apparatus according to Claim 7, wherein

said light source unit has a single light source and a switching mechanism which changes a wavelength of light emitted from said light source; and

said controller switches said wavelength of light emitted from said light source via said switching mechanism on said exposure and on said cleaning.

15

14. The exposure apparatus according to Claim 13, wherein said switching mechanism is a driving mechanism which drives a portion of a narrow-banding module, said narrow-banding module narrowing a width of said wavelength of light emitted from said light source.

20

15. The exposure apparatus according to Claim 14, wherein

said narrow-banding module can change said width of said wavelength of light emitted from said light source; and

25

said controller changes said width of said wavelength of light which is narrowed by said narrow-banding module to a width which include an absorption range by oxygen via said driving mechanism on said cleaning.

16. The exposure apparatus according to Claim 7, wherein said second light is an ArF excimer laser beam which has a wavelength of approximately 193.23nm.

5

17. The exposure apparatus according to Claim 7, wherein said exposure apparatus further comprises an adjustment unit which can adjust an intensity of light emitted from said light source unit and is arranged along a part of an optical path, said optical path from said light source unit to said mask; and

said controller controls said adjustment unit so as to make an intensity of said second light stronger compared to an intensity of said first light.

15

18. An exposure apparatus which transfers a mask pattern onto a substrate through an optical system, said exposure apparatus comprising:

a light source unit which can emit at least light of a predetermined wavelength width, including an exposure wavelength;

an optical system for illumination which irradiates said light from said light source unit onto said mask;

a projection optical system which projects light exiting from said mask onto said substrate;

25

an adjustment unit which can adjust an intensity of light emitted from said light source unit, and is arranged along a part of an optical path, said optical path from said light

source unit to said mask; and

a controller which controls said adjustment unit so as to make said intensity of said light emitted from said light source unit stronger upon cleaning at least a part of said optical system for illumination and said projection optical system, compared with when said mask pattern is transferred onto said substrate by exposure.

19. The exposure apparatus according to Claim 18,
10 wherein

said adjustment unit is arranged so it can be inserted and withdrawn from said part of said optical path, said adjustment unit includes a beam splitter which splits a light beam passing through said optical path and has at least one
15 optical delay element to guide one of a split beam through a delay optical path and back to said optical path; and

said controller inserts said beam splitter into said optical path upon said exposure and withdraws said beam splitter from said optical path upon said cleaning.

20

20. An exposure apparatus which irradiates first light having an exposure wavelength onto a substrate via a mask on which a pattern is formed, said first light being emitted from a light source, said exposure apparatus comprising

25 a controller which sets second light to be incident on an optical element upon cleaning of at least one optical element which is arranged between a light source and a substrate in said exposure apparatus, said second light being

changed from said first light with respect to at least one of intensity, wavelength, and width of wavelength.

21. The exposure apparatus according to Claim 20,
5 wherein

said second light is light having a wavelength which absorption by oxygen is greater than that of said first light, and

said controller selectively chooses one of said light
10 source and a light source which emits said second light to guide to said optical element.

22. An exposure method which transfers a mask pattern onto a substrate through an optical system, said exposure
15 method comprising:

irradiating ultraviolet light that has a wavelength which absorption by oxygen is greater than that of an exposure wavelength on said optical system, said optical system having a sufficient amount of oxygen in at least a part of its
20 interior;

replacing a gas of said optical system in at least a part of its interior which contains oxygen to a gas which has an index of refraction close to 1; and

transferring said mask pattern onto said substrate
25 through said optical system by irradiating ultraviolet light which has said exposure wavelength.

23. The exposure method according to Claim 22, wherein

intensity of said ultraviolet light that has said wavelength which absorption by oxygen is stronger than that of said ultraviolet light that transfers said mask pattern onto said substrate.

5.

24. An exposure method which transfers a mask pattern onto a substrate through an optical system, said exposure method comprising:

irradiating second light for a predetermined period of
10 time, said second light having stronger intensity compared to that of first light emitted on exposure;

replacing a gas of said optical system in at least a part of its interior which contains oxygen to a gas which has an index of refraction close to 1; and

15 transferring a mask pattern onto said substrate through said optical system by irradiating said first light which has an exposure wavelength.

25. An exposure method which transfers a mask pattern
20 onto a substrate through an optical system with first light having an exposure wavelength and being emitted from a light source, said method comprising:

irradiating second light onto at least one optical element which is arranged between said light source and said
25 substrate for a predetermined period of time, said second light being changed from said first light with respect to at least one of intensity, wavelength, and width of wavelength; and

irradiating said first light onto said mask after

irradiating said second light onto said optical element, and transferring said mask pattern onto said substrate.

26. A light source unit which emits first light having
5 an exposure wavelength, said light source unit comprising:

a switching mechanism which switches said first light into second light having a wavelength which absorption by oxygen is greater than that of said first light.

10 27. The light source unit according to Claim 26, wherein said light source unit is arranged in an exposure apparatus, said light source unit emits

said first light when transferring said mask pattern onto said substrate, and

15 said second light when cleaning at least one optical element which is arranged between said light source and said substrate.

28. The light source unit according to Claim 27,
20 wherein said switching mechanism is controlled by a controller which controls overall operation of said exposure apparatus.

29. A device manufacturing method including a lithographic process, wherein said lithographic process uses
25 said exposure apparatus in Claim 7 to perform exposure.

30. A device manufacturing method including a lithographic process, wherein said lithographic process uses

said exposure apparatus in Claim 18 to perform exposure.

31. A device manufacturing method including a lithographic process, wherein said lithographic process uses
5. said exposure apparatus in Claim 20 to perform exposure.

32. A device manufacturing method including a lithographic process, wherein said lithographic process uses said exposure method in Claim 22.

10

33. A device manufacturing method including a lithographic process, wherein said lithographic process uses said exposure method in Claim 24.

15 34. A device manufacturing method including a lithographic process, wherein said lithographic process uses said exposure method in Claim 25.

20 35. A device manufactured by employing said device manufacturing method in Claim 29.

36. A device manufactured by employing said device manufacturing method in Claim 30.

25 37. A device manufactured by employing said device manufacturing method in Claim 31.

38. A device manufactured by employing said device

manufacturing method in Claim 32.

39. A device manufactured by employing said device manufacturing method in Claim 33.

5:

40. A device manufactured by employing said device manufacturing method in Claim 34.

ABSTRACT

Ultraviolet light having a wavelength which is greatly absorbed by oxygen is emitted for a predetermined period of time from a light source into a housing containing a light transmitting system, an optical system for illumination, and a projection optical system. The gas in the housing is replaced with dry air containing oxygen sufficiently. The oxygen in the gas absorbs the energy of the ultraviolet light, and ozone is produced by photochemical reaction. Therefore, the contaminant adhering on the surface of an optical element is removed by the oxidation of ozone; thus the optical element is efficiently cleaned. Consequently, an optical element is sufficiently cleaned in a shorter time than in conventional methods, and the illumination time of the ultraviolet light is reduced, thereby reducing the damage to the glass material.

Fig. 1

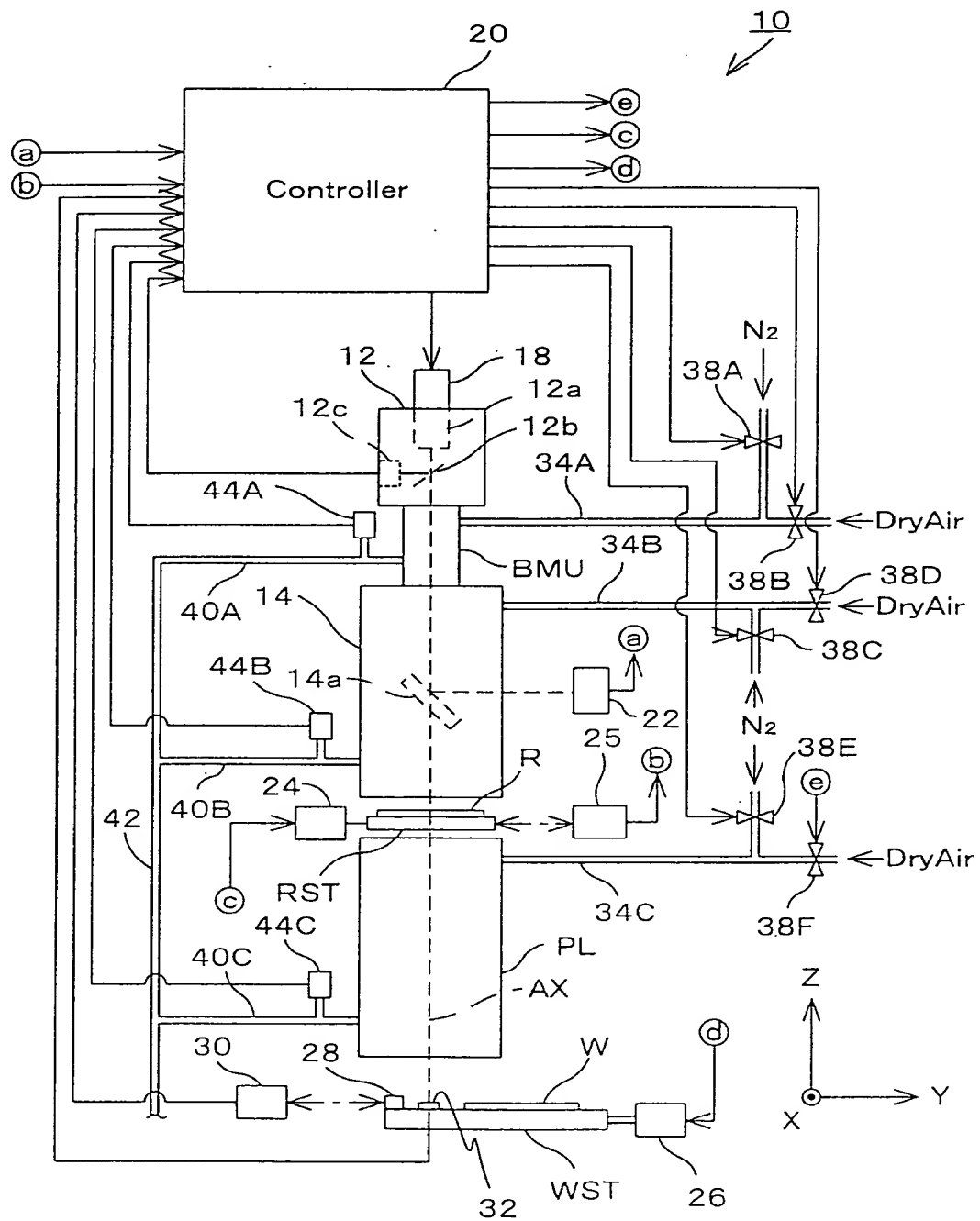


Fig. 2

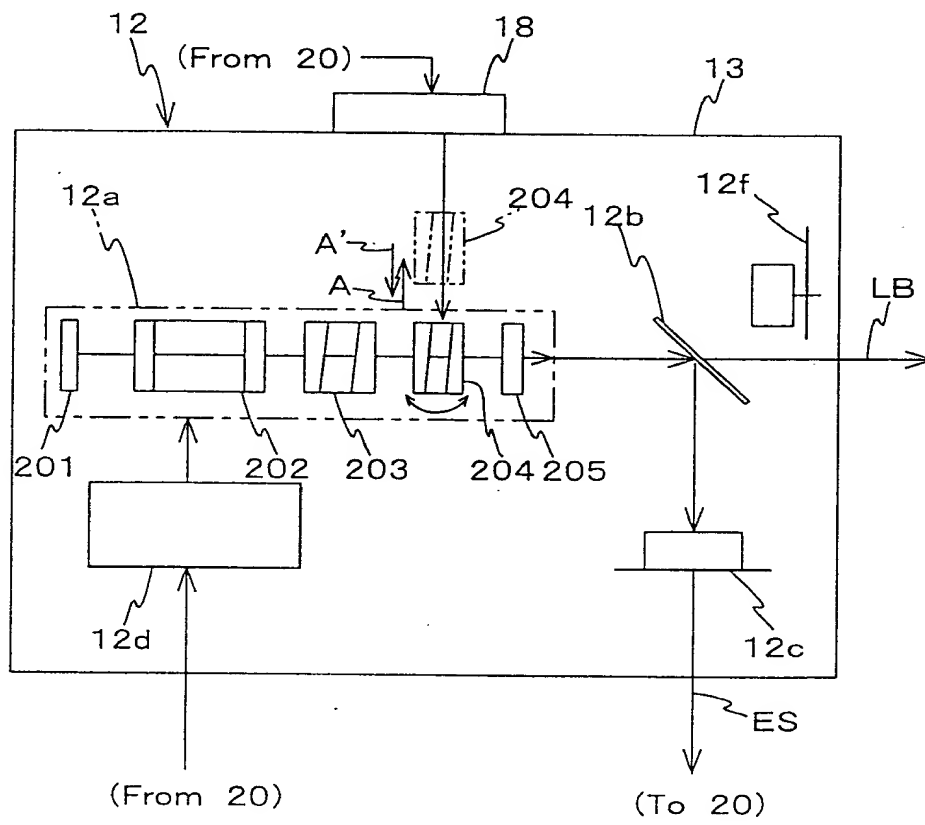


Fig. 3

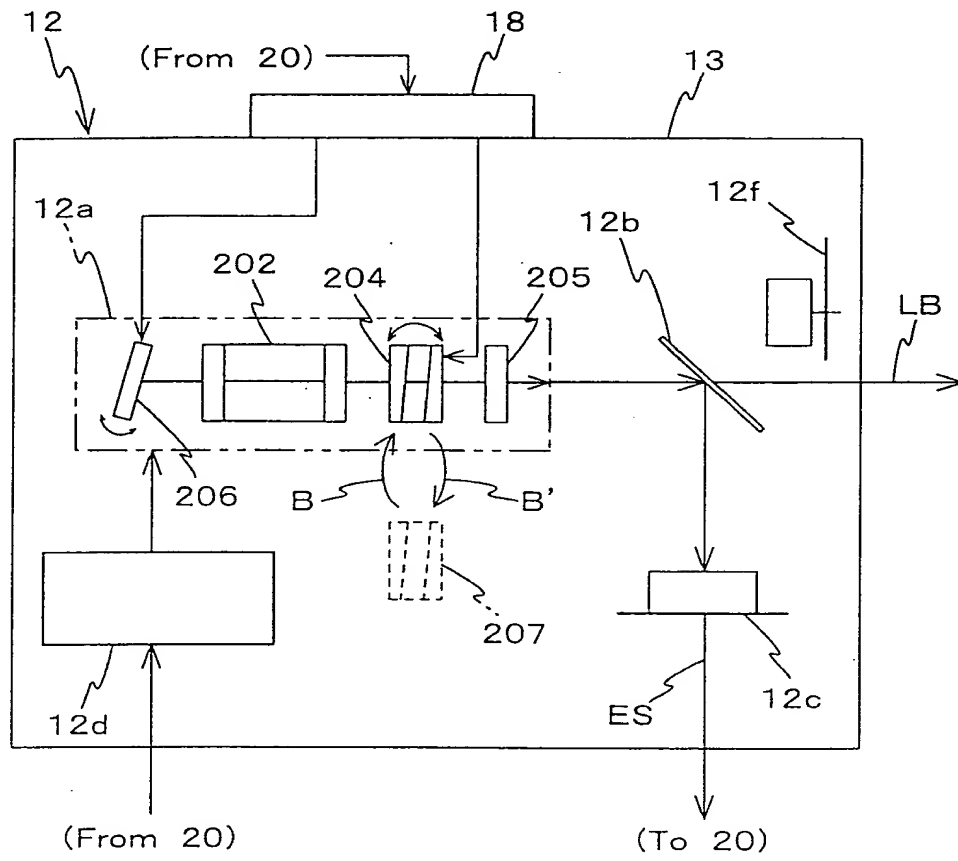
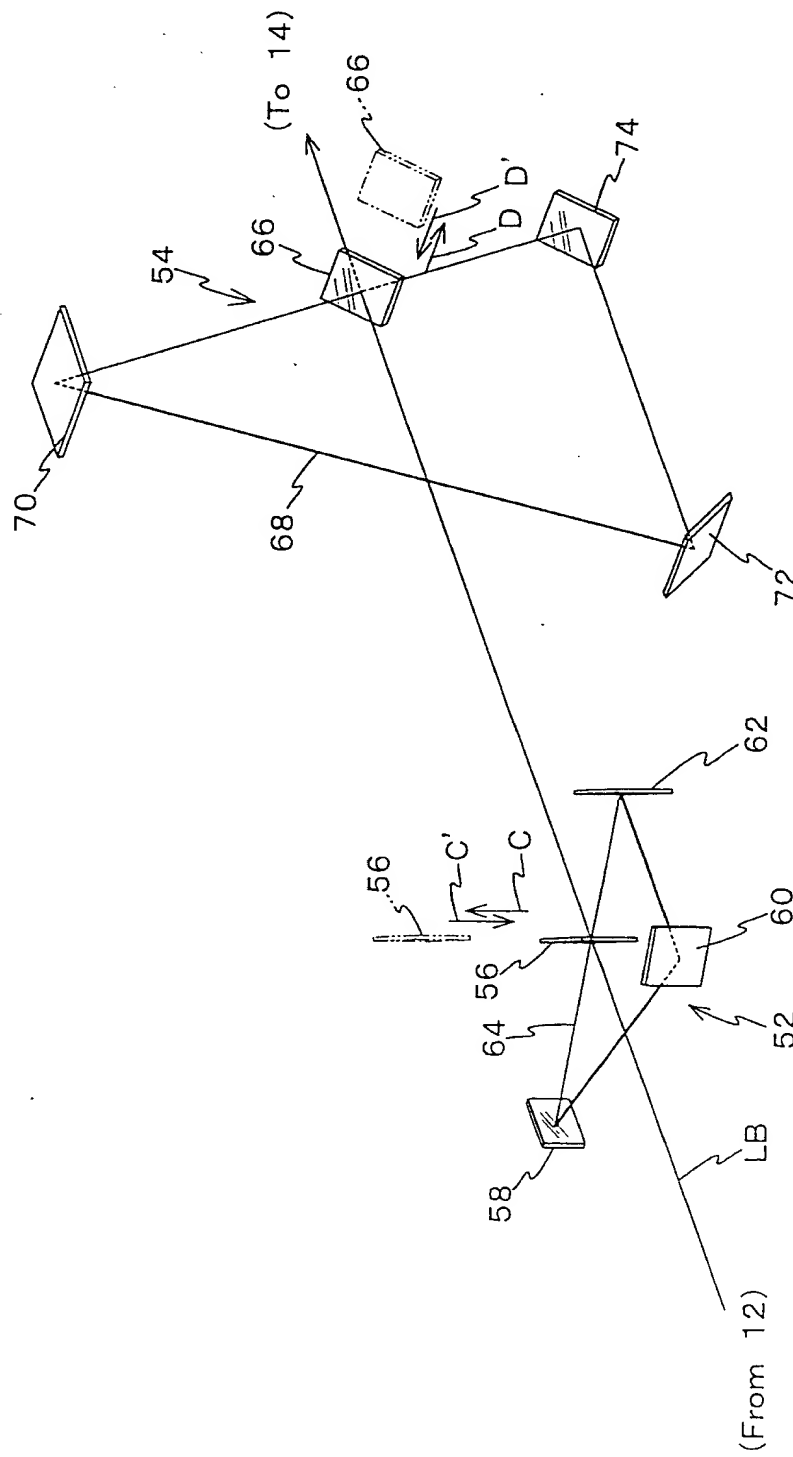


Fig. 4



5 / 8

Fig. 5

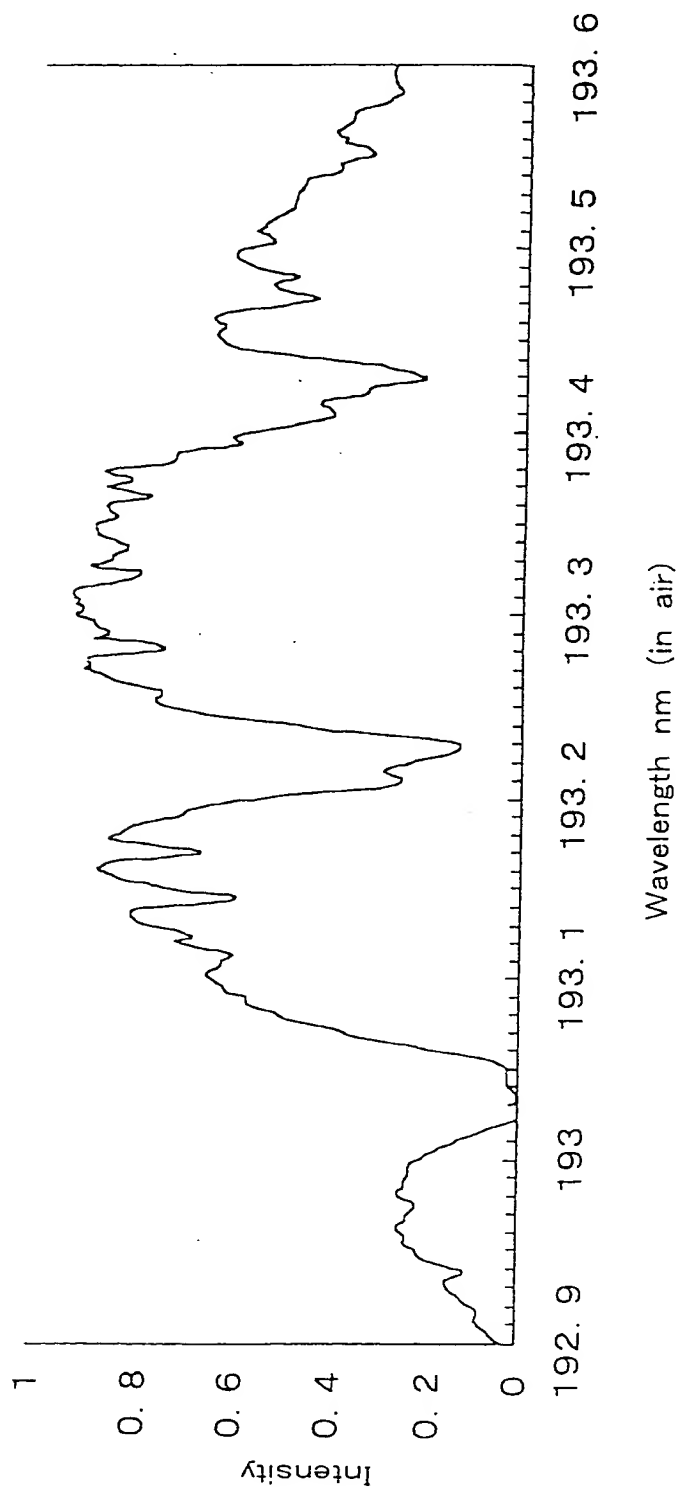


Fig. 6

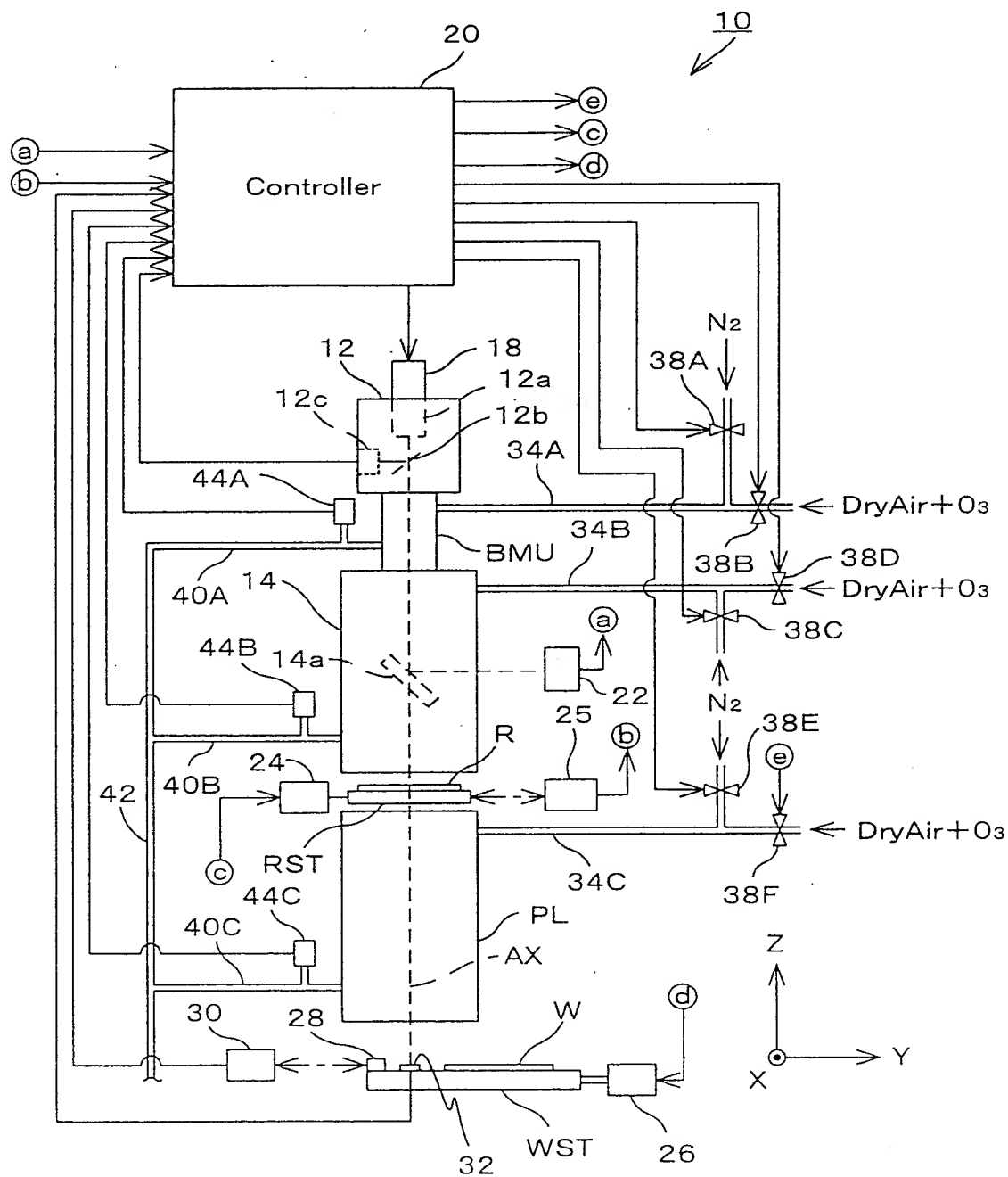


Fig. 7

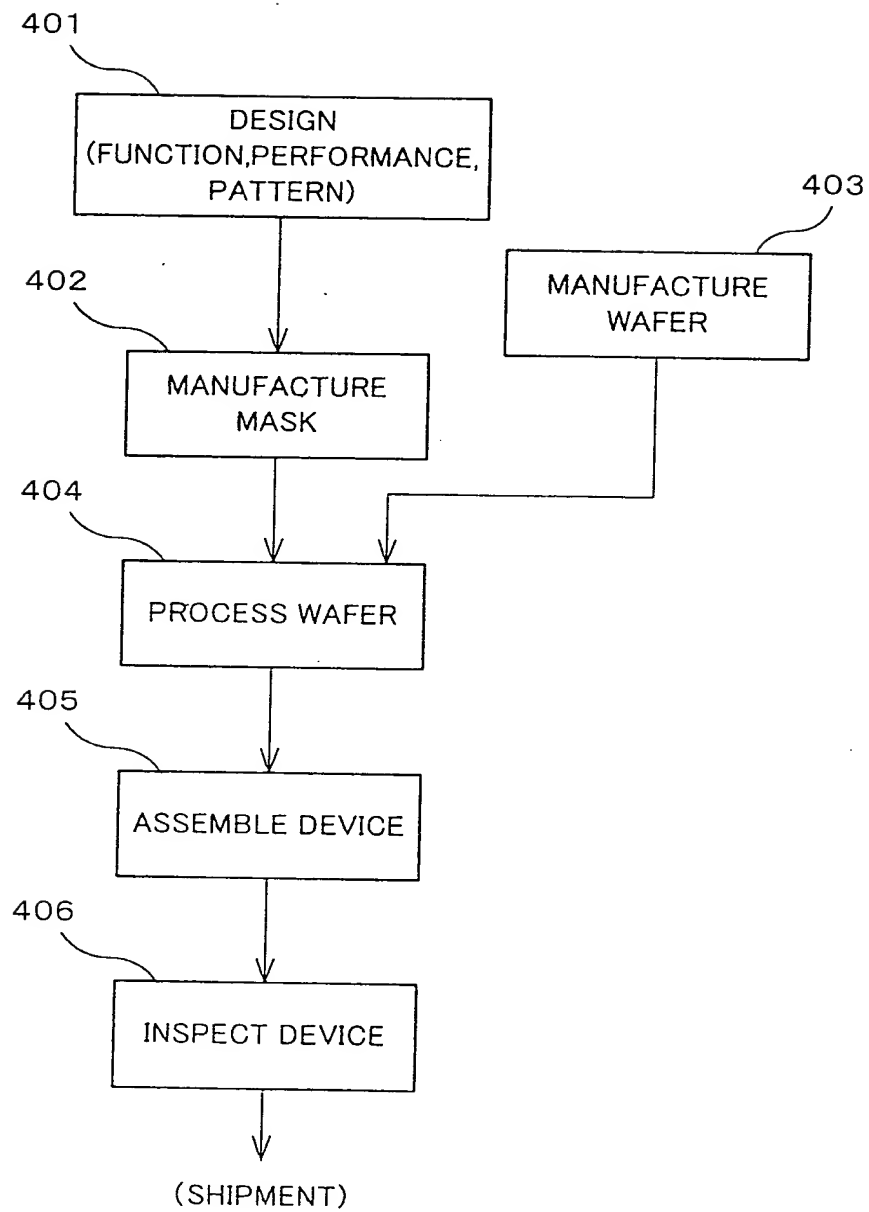


Fig. 8

